Université de Mostaganem



Université de Mostaganem



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

Faculté des Sciences et de la Technologie

THÈSE

Présentée pour obtenir le grade de Docteur en science

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux Durables

Présentée par :

MAROUF HAFIDA

« *Valorisation des sédiments issus du dragage du barrage de Bouhanifia et du port d'Oran* »

Soutenue publiquement le 25 novembre 2018 à 9h

Devant le jury composé de :

Mme. BELAS Nadia	Pr., Université de Mostaganem	Président
Mme MALAB Souad	MCA., Université USTO Oran	Examinatrice
Mr AIT ATMANE Hassen	Pr. Université de Chlef	Examinateur
Mr SEMCHA Abdelaziz	MCA., Université d'Adrar	Directeur de Thèse
Mr BOUHAMOU Nasr-Eddine	Pr., Université de Mostaganem	Co- directeur de Thèse

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

« Tous les bonheurs du monde viennent de la recherche du bonheur d'autrui ; Toutes les souffrances du monde viennent de la recherche de son propre bonheur ». Shantideva

« Soyons reconnaissants aux personnes qui nous donnent du bonheur ; elles sont les charmants jardiniers par qui nos âmes sont fleuries ». Marcel Proust

Un grand Merci à ceux qui ont cru en moi et qui m'ont permis d'arriver au bout de cette thèse.

Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements à M. Semcha Abdelaziz, qui fut pour moi un directeur de thèse attentif et disponible, sa relecture méticuleuse de chacun des chapitres m'a sans aucun doute permis de préciser mon propos, à mon Co-encadreur Bouhamou Nasr Eddine qui n'a ménagé aucun effort pour orienter mes travaux malgré ses nombreuses charges. La compétence, la rigueur scientifique et la clairvoyance de ces deux grands messieurs m'ont beaucoup appris. Ils ont été et resteront les moteurs de mon travail de chercheur.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres du jury en l'occurrence le président madame Belas Nadia de l'université Abelhamid Ibn Badis de Mostaganem, aux examinateurs, madame Malab Souad de l'USTOran et monsieur Ait Redouane Hassen de l'université de Chlef.

Je remercie, les responsables du barrage de Bou-Hanifia pour m'avoir facilité l'accès et me pourvoir en quantité suffisante de vase pour les essais de laboratoire, Mr. Mouloud Oudjoudi du laboratoire LTPO et Mr. Ben Mostefa Daho Ahmed directeur technique de la cimenterie de Beni Saf de m'avoir permis de travailler dans d'aussi bonnes conditions.

Je dois remercier en outre toutes les personnes formidables que j'ai rencontré à la briqueterie de Remchi et de Zemoura qui furent pour moi d'un apport considérable sans oublier Mr Bencheikh Mohamed.

Je pense particulièrement à toutes les personnes du Laboratoire de Matériaux et Mécanique du Génie Civil (L2MGC) à l'Université de Cergy Pontoise en particulier madame Salima Aggoun.

Et à ceux de l'IMT Douai-France dont j'ai partagé des avis fructueux concernant mes recherches. Mr Benzerzour Mahfoud, Mr Maherzi Walid, Mr Pizette Patrick et Mr Abriak Noureddine.

A tous mes collègues de travail en particulier Mahmoudi Noureddine, Yachba Khadija, Berrouachedi Abdelkader et autres personnes dans l'ombre, dont la contribution à mon travail est non négligeable, les nombreuses discussions que j'ai pu avoir avec chacun d'eux m'ont beaucoup apporté.

Je remercie mon cher époux pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme contagieux à l'égard de mes travaux comme de la vie en général. Notre couple a grandi en même temps que mon projet scientifique, le premier servant de socle solide à l'épanouissement du second.

Ces remerciements ne peuvent s'achever, sans une pensée pour ma mère. Sa présence et ses encouragements étaient et restent pour moi des piliers solides de ce que je suis et de ce que je fais.

Enfin, les mots les plus simples étant les plus forts, j'adresse toute mon affection à l'ensemble de ma famille, et en particulier à mes enfants Racha, Alaa Eddine, Djawed et Djihane.

Marouf Hafida

A ma chère mère

A mon cher époux….

Résumé

De nos jours, la problématique de la sédimentation des bassins, des estuaires, des ports, des barrages et autres ouvrages sensibles, intéresse de nombreux chercheurs. Diverses opérations de prise en charge des conséquences du dépôt des matières solides au gré des courants sont proposées, mais le problème est loin d'être résolu.

Notre contribution à travers cette recherche doctorale, consiste à étudier la problématique post-dragage des sédiments en provenance d'un barrage et d'un port, et pour des raisons de proximité nous avons opté pour le port d'Oran et le barrage de Bouhanifia. En effet ces deux infrastructures sont draguées régulièrement : le barrage pour récupérer des volumes de stockage de l'eau pour la région de Mascara qui est à vocation agricole et le port d'Oran qui est le premier port de la rive sud de la méditerranée, à partir de Gibraltar, construit en eaux profondes pouvant accueillir des gros cargos. Nous remarquerons que les opérations de dragage sont d'autant plus coûteuses que nécessaires pour la survie de ces ouvrages stratégiques pour notre pays.

Par ailleurs, les conséquences du dragage qui se résument en : « devenir des matériaux dragués », par manque de savoir-faire, ont eu des retombées négatives sur l'environnement et de nouvelles contraintes ont vu le jour. Ainsi la voie de ne plus considérer ces matériaux comme déchets et plutôt les considérer comme matières premières, a été mise en évidence : La valorisation des sédiments issus des dragages contribue surement à la résolution des problèmes posés.

Notre objectif a été d'abord de valoriser la vase issue du dragage du port d'Oran et du barrage de Bouhanifia comme matériau de base dans la fabrication de brique cuite. L'étude de la vase marine a révélé son inadaptation à être utilisée dans la confection de la brique cuite compte tenude son aspect non argileux et de la présence d'un taux élevé de contaminants qui a tendance à fragiliser sa morphologie.

Expérimentalement, nous avons montré que la vase issue du barrage de Bouhanifia répond aux normes de confection des briques rouges avec en outre, un caractère non polluant. L'utilisation de ce matériau dans la fabrication de la brique cuite présente une rentabilité économique et environnementale certaine. L'analyse thermique différentielle ATD/ATG et l'analyse par rayons X (DRX) ont facilité l'optimisation de la température de cuisson à 850°C ce qui tend à économiser une certaine énergie de cuisson en comparaison avec le procédé

procédé classique. Des essais de durabilité conçus pour la brique cuite à base de sédiments ont donné des résultats satisfaisants.
Par ailleurs vu que les essais dans notre cas, sont nombreux et fastidieux, nous avons opté pour une méthode d'approche de l'échantillonnage à l'aide d'un modèle informatique basé sur l'optimisation et permet de résoudre et optimiser les caractérisations pour retenir l'échantillon le mieux adapté (chimiquement) en utilisant un algorithme génétique.

Mots Clés : Dragage- Port- Barrage- Vase- Valorisation- Brique- Caractérisation- Optimisation- Génétique

Abstract

Today, the problem of sedimentation of basins, estuaries, ports, dams and other sensitive structures is of interest to many researchers.

Various operations to deal with the consequences of deposition of solids at the mercy of currents are proposed, but the problem is far from being solved. Our contribution through this doctoral research consists of studying the post-dredging problem of sediments coming from a dam and a port, and for reasons of proximity we opted for the port of Oran and the Bouhanifia dam. Indeed these two infrastructures are dredged regularly: the dam to recover volumes of water storage for the region of Mascara which is agricultural vocation and the port which is the first port of the southern shore of the Mediterranean, from Gibraltar, built in deep water that can accommodate large cargo ships. We will notice that the dredging operations are all the more expensive as necessary for the survival of these strategic works for our country.

Otherwise, the consequences of dredging, which can be summed up as "becoming dredged materials" due to a lack of know-how, have had a negative impact on the environment and new constraints have emerged. Thus the way to no longer consider these materials as waste and rather to consider them as raw materials, has been highlighted: The recovery of sediments from dredging certainly contributes to the resolution of the problems posed.

Our goal was first to develop the mud from the dredging of the port of Oran and the dam Bouhanifia as a base material in the manufacture of baked brick. The study of the marine mud revealed its unsuitability to be used in the manufacture of the cooked brick considering its non-clayey aspect and the presence of a high rate of contaminants which tends to weaken its morphology. Experimentally, we have shown that the mud from the dam Bouhanifia meets the standards for making red bricks with a non-polluting character. The use of this material in the manufacture of baked brick has a certain economic and environmental profitability. ATD / ATG thermal and differential analysis and X-ray analysis (XRD) have facilitated the optimization of the firing temperature at 850 ° C, which tends to save some cooking energy compared to the conventional process. Durability tests designed for cooked brick based on sediments have given satisfactory results.

Moreover, since the tests in our case are numerous and tedious, we have opted for a method of sampling approach using a computer model based on optimization and makes it possible to solve and optimize the characterizations to retain the most suitable sample (chemically) using a genetic algorithm.

Keywords: Dredging- Port- Dam- Vase- Valorization- Brick- Characterization- Optimization- Genetics

ملخص

في السنوات الأخيرة أصبحت اشكالية ترسب الأحواض ، ومصبات الأنهار ، والموانئ ، والسدود ، والهياكل الحساسة الأخرى تهم الكثير من الباحثين. وقد تم اقتراح عمليات مختلفة للتكفل بعواقب ترسب المواد الصلبة الناتجة عن التيارات ، ولكن المشكلة مازالت قائمة.

مساهمتنا من خلال بحث الدكتوراه تتمثل في دراسة اشكالية ما بعد تجريف الرواسب القادمة من السد والميناء ، ولأسباب القرب ، اخترنا ميناء وهران وسد بوحنيفية. وبالفعل يتم تجريف هذين البنى التحتية بشكل منتظم للسد لاستعادة كميات تخزين المياه لمنطقة معسكر ذات الطابع الزراعي والميناء الذي يعد أول ميناء في الساحل الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط امتدادا من جبل طارق ، المبني في المياه العميقة ،له قدرة استيعاب سفن شحن كبيرة، نلاحظ أن عمليات التجريف ضرورية و مكلفة من أجل بقاء هذه البنى الإستراتيجية لبلدنا.

ومن جهة أخري إن عواقب مستخرجات التجريف التي تتلخص في " مستقبل مواد التجريف " التى سببها الافتقار إلى المعرفة الفنية ، كان لها تأثير سلبي على البيئة وظهور عوائق جديدة لم تكن موجودة. ولهد تمت رؤى جديدة باعتبار هذه المواد ليست فقط كمخلفات بل باعتبارها مواد أولية، إن تثمين و استرجاع الرواسب الناتجة عن التجريف يسهم بالتأكيد في حل المشاكل المطروحة.

كان هدفنا أولاً تثمين الرواسب الناتجة من عملية التجريف في ميناء وهران وسد بوحنيفية كمواد أساسية في صناعة اللبنة. كشفت دراسة الرواسب البحرية عن عدم ملا ئمتها لاستخدامها في إنتاج اللبنة بسبب انعدام مادة الطين ووجود مستويات عالية من الملوثات التي تسبب في إضعاف مورفولوجيته.

من الناحية التجريبية ، أظهرنا ان الرواسب المستخرجة من سد بوحنيفية تستجيب لمعايير صنع اللبنة بالاظافة الى عدم احتوائها على المواد الملوثة . إن استخدام هذه المادة في صناعة اللبنة يرفع بالتأكيد من المر دودية الاقتصادية و البيئية. لقد ساعد التحليل الحراري والتفاضلي ATD/ATG وتحليل الأشعة السيني DRXعلى تعظيم المستوى الحراري للحرق عند 850 درجة مئوية و هو ما يساعد الى التوفير من طاقة الحرق مقارنة بالاستخدامات التقليدية ,و لقد أعطت اختبارات الديمومة البنة نتائج مرضية.

علاوة على ذلك و نضرا للتجارب المتعددة والمضنية ، فقد اتجهنا الى اختيار طريقة تقريبية لانتقاء أحسن العينات باستخدام نموذج اعلامي يعتمد على التحسين بإمكانه حل و تحسين الخصوصيات وتحسينها للاحتفاظ بالعينة الأكثر ملائمة كيميائيا باستخدام خوارزمية جينية.

كلمات المفتاح التجريف ،الميناء ، السد ، الرواسب ،الخصائص الفيزيائية و الكيميائية ،تثمين اللبنة، الخصوصيات الخوارزمية الجينية.

TABLE DES MATIÈRES

Chapitre 3 *Caractérisation des Sédiments Dragués*

Chapitre 4 *Procédé de Fabrication de la Brique à Base de la Vase du Barrage*

Chapitre5 *Utilisation de la Vase Marine*

Chapitre6 *Application de la Programmation Génétique dans La Modélisation de l'Analyse Chimique des Argiles à Briques*

Liste des Tableaux

-

Listes des Figures

Avant-propos

Le travail développé dans cette thèse est la conséquence de la nécessité de prise en charge des retombées environnementales des opérations de dragage effectuées sur des ouvrages stratégiques qui sont les infrastructures portuaires et les barrages.

L'Algérie, sur sa façade maritime dépassant les 1200 km, de nombreux ports voient leur filet d'eau navigable soumis aux phénomènes d'envasement et qu'il faut maintenir en état normal pour la navigation. Les retenues de barrage aussi sont soumises aux mêmes phénomènes d'envasement : les cours d'eau, pendant les crues, charrient des quantités considérables de matières solides qui, au gré des courants, se déposent et se consolident et finissent par occuper les espaces de stockage de l'eau.

Par ailleurs, la maintenance de ces ouvrages passe par l'obligation de leur curage. Quel que soit le procédé utilisé, ce sont des volumes considérables de matériaux qui sont extraits régulièrement et posent à leur tour des questions relatives à leur devenir.

Les conséquences du rejet dans l'environnement de ces matériaux qui ont été bien spécifiées dans de nombreux travaux, doivent être prises en charge concrètement. C'est dans ce cadre que nous proposons notre contribution sur des ouvrages choisis pour des raisons de proximité et qui sont le port d'Oran et le barrage de Bouhanifia. Nous intitulons notre travail : « Valorisation des sédiments issus du barrage de Bouhanifia et du Port d'Oran ».

Introduction Générale

C'est la perte des volumes destinés au stockage de l'eau, pour les barrages et la diminution des profondeurs navigables pour les ports ou la création de nouvelles marinas, qui imposent le recours aux dragages. Cela entraîne La récupération de grandes quantités de matières solides qui sont confrontés à leur tour aux problèmes liés à leur devenir.

Ces matériaux dragués peuvent être valorisés et transformés en matières premières, mais au préalable, il est important de mettre en évidence les faits suivants devant baliser nos investigations :

- Les systèmes de construction des sociétés anciennes, étaient faits à base de matériaux naturels non cuits ou de chaux plus ou moins pure. Ils étaient en quelque sorte plus "verts" et en particulier plus en accord avec leur environnement.
- Il est remarquable de noter que suite à une probable pénurie de matières premières et d'énergie, l'évolution des systèmes constructifs se fera probablement en revenant vers ces solutions anciennes plus naturelles.

Concernant les sédiments de barrage, ce sont les particules les plus fines qui sont transportées par suspension dans la majorité des cas, qui vont se déposer au pied des digues. Leur extraction devient nécessaire pour libérer les ouvrages internes du barrage. Ces matières rejetées dans le milieu naturel risquent d'être entraînées de nouveau et causer de nouveaux désordres dans l'environnement aval des retenues (cas du barrage de Fergoug et la plaine de la Macta, au nord-ouest de l'Algérie). Notre intérêt pour les sédiments issus du barrage de Bouhanifia, fut basé sur le fait que ces matériaux ont montré un comportement comparable à celui des argiles : en effet elles proviennent de l'altération des roches du bassin versant et les fractions fines (<100 micromètres) se plastifient à l'eau de façon réversible, c'est-à-dire qu'en fonction de leur teneur en eau, elles redeviennent liquides ou solides. En plus dans

ces particules nous retrouvons les mêmes compositions minéralogiques que les roches mères.
Avant de procéder aux transformations nécessaires de valorisation, il faut d'abord caractériser les différents gisements de l'étude en utilisant les méthodes de caractérisation modernes en rapport avec les procédés retenus de transformation des propriétés physiques et mécaniques des matières premières. Une nouvelle approche est ainsi proposée avec l'application de la méthode génétique. Cette méthode permet l'optimisation par ordinateur des caractéristiques à retenir pour l'échantillon le plus adapté (chimiquement) au procédé de valorisation retenu.
Le mémoire est structuré en 6 chapitres : Le premier résume la problématique des sédiments issus des dragages, qui mettra en évidence les enjeux de valorisations de ces matières. Le deuxième chapitre abordera la présentation des sites retenus pour cette étude et leur importance économique. Le troisième chapitre est consacré à l'expérimentation et les techniques retenues pour les matières premières concernées par la valorisation. Au quatrième chapitre on reprend les caractéristiques essentielles des matières premières et des procédés de fabrication de la brique crue et cuite. Dans le cinquième chapitre, on donne un aperçu sur l'utilisation de la vase marine sur une autre voie d'utilisation, et on termine le mémoire par la présentation, au chapitre 6, de l'algorithme génétique comme nouvelle approche dans l'optimisation des caractéristiques à retenir pour un procédé de valorisation.
En conclusion, une analyse des résultats obtenus avec quelques perspectives sont présentées.

Chapitre1

Problématique des Sédiments Dragués

I.1. Introduction

La sédimentation est un phénomène naturel, elle est due à l'érosion des roches, des sols, la précipitation des sels comme les chlorure et les sulfates, les débris des plantes des coquilles et cadavres d'animaux ; leurs transport quotidien par les cours d'eau conduit à leurs envasement.

Les substances toxiques peuvent se fixer aux particules des sédiments [Tran, 09]. Dans le dictionnaire de géologie [Foucault et Raoult, 80], les sédiments sont définis comme *"un ensemble constitué par la réunion de particules plus ou moins grosses ou de matières précipitées ayant, séparément, subi un certain transport"*.

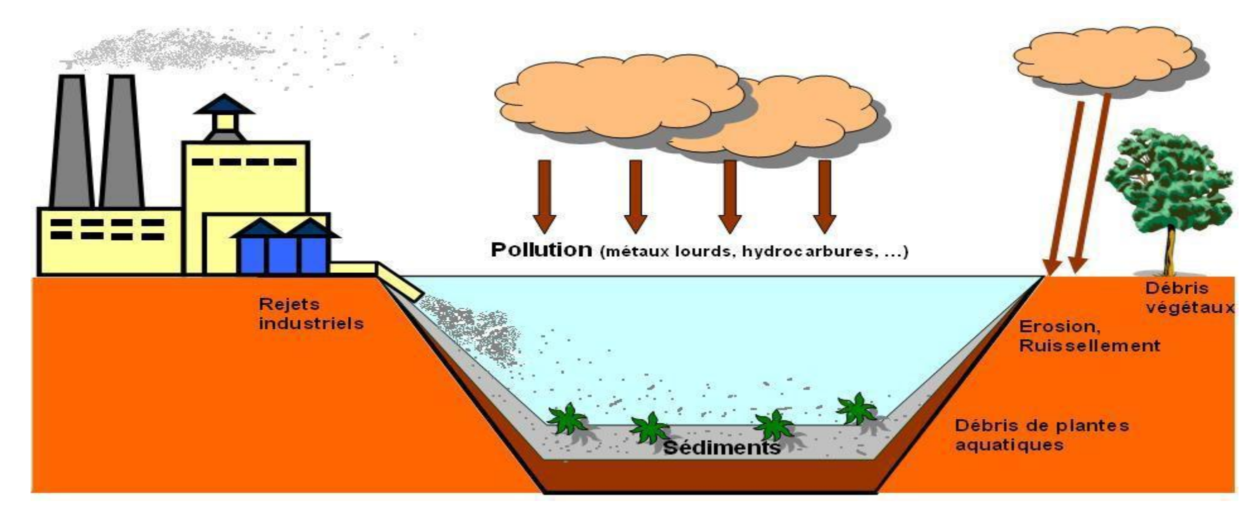


Fig. 1-1 Formation des Sédiments [Samara, 07]

L'envasement entraine la diminution de la hauteur du tirant d'eau nécessaire pour la navigation au niveau des ports, et la hauteur de stockage d'eau dans les barrages.

Pour endiguer ce phénomène (sédimentation) des opérations de dragage sont menées partout et régulièrement. La vase extraite puis rejetée dans la nature engendre des situations et des problèmes nuisibles, donc nous sommes contraints à chercher des solutions pour exploiter ces déchets dans les domaines divers du génie civil.

Les recherches antérieures menées dans le cadre de la prise en charge des retombées des opérations de dragage, ont donné des perspectives prometteuses.

(Agostini et al, 07 ; Hamer et Karius, 02 ; Remini, 06 ; Xu et al, 04 ; Cappuyns et al, 15 ; Zhang et al, 16 ; El Fagaier et al, 16 ; Messina et al, 2017 ; El Fagaier et al, 13 ; Samara et al, 09 ; Kung Yuh et al, 08 ; Mazencevova, 12).

1.2. Composition des sédiments

Les sédiments sont composés d'une fraction minérale, d'une fraction organique et de l'eau. La figure1-2 présente un exemple de composition des sédiments portuaires du bassin d'Arcachan (territoire de Buch France); on donne les fractions de chaque composant.

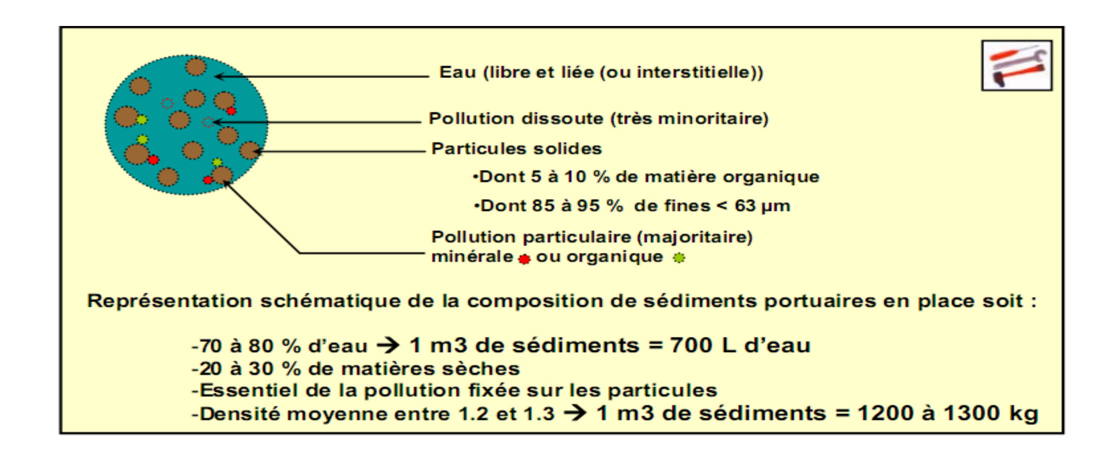


Fig. 1-2 Schéma de la composition simplifiée des sédiments portuaires [Bassin d'Arcachon, 09]

I.2.1 Les éléments de nature minérale

La composition minérale des sédiments diffère selon leurs provenances [Agostini, 06]. Les éléments de nature minérale influencent essentiellement les caractéristiques physiques et mécaniques des sédiments. Ils sont classés en fonction de leur taille, on distingue ainsi: les argiles, les limons, les sables, les graviers et les cailloux (Tableau 1-1).

Dénomination	Argile	Limon	Sable	Gravier	Cailloux
Diamètre (mm)	d < 0,002	0,002 ≤ d < 0,063	0,063 ≤ d < 2	2 ≤ d < 20	20 ≤ d

Tableau 1-1. Classification granulométrique

L'étude des résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans le port de Bouharoun et le port de Khemisti en Algérie montre que dans le port de Bouharoun on trouve du sable très fin à fin (88-135µm) alors que dans l**e** port de Khemisti on ne trouve que du sable très fin (95µm) [Belkessa et al, 07].

Les résultats de l'analyse granulométrique et la connaissance de la répartition des contaminants en fonction de la distribution granulométrique sont des indicateurs pour la décontamination [Tran, 09]. Par exemple, les travaux de recherche menant à la

caractérisation des sédiments du port de Hambourg ont démontré que la fraction grossière de ces sédiments comportait une contamination pratiquement nulle alors que la fraction fine (argile et limon) contenait presque la totalité de la contamination [Gosselin et al, 99 ; Tran, 09]. Les contaminants sont généralement centralisés dans la fraction fine des sédiments.

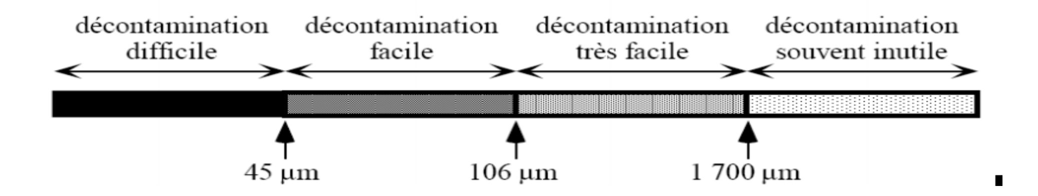


Fig.1- 3 Degré de décontamination en fonction de la granulométrie du matériau [Gosselin et al. 99 ; Tran, 09].

On peut citer dans la composition minérale :

- Les cailloux et les graviers sont des sédiments terrigènes, c'est-à-dire, issus de l'érosion des sols.
- Les sables sont essentiellement quartzeux (silice SiO_2), on peut trouver les micas, voire des feldspaths. Ils comportent souvent des minéraux lourds dont la nature dépend des formations érodées. On trouve également des sables calcaires.
- Les particules les plus fines, limons, boues et vases, sont composées de minéraux Argileux.

I.2.2 L'eau dans les sédiments

La nature de l'eau contenue dans les vases, appelée « eau interstitielle » peut être répartie en quatre catégories :

- L'eau libre qui n'est pas liée aux fines ;
- L'eau capillaire, liée aux fines par des forces de capillarité ;
- L'eau colloïdale qui hydrate les colloïdes ;
- L'eau adsorbée qui est liée à la surface des particules et constitue un film autour d'elles [Scordia, 08].

I.2.3 La matière organique

La matière organique est issue soit de débris végétaux soit de micros organismes, ou encore de colloïdes humiques. Les substances humiques colorent la vase en noir et interagissent avec la partie minérale provoquant des conglomérations. En général, la proportion massique de matière organique est de l'ordre de 2 à 10 % pour les sédiments des cours d'eaux et elle est constituée à 60% de composés humiques [Schneider, 01 ; Scordia, 08].

I.2.4 Les polluants dans les sédiments

Le phénomène d'envasement s'est amplifié en raison de l'accroissement des apports anthropiques et de l'érosion ; les polluants peuvent être de nature organique (HAP, PCB, TBT…) et inorganique (métaux) qui vont s'accumuler dans les sédiments.

La pollution microbiologique du milieu marin a pour principale source le rejet en mer des résidus de l'activité humaine : eaux usées brutes ou épurées, boues de station d'épuration parfois rejetées [Bitton et al ,1983 ; Feachem et al ,1983 ; Schwartzbrod ,86 ; Stien et al, 90]

I.3 Le dragage

On appelle dragage l'opération qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond d'un plan d'eau. L'objectif peut être de réaliser des travaux de génie portuaire, d'entretenir les chenaux fluviaux ou maritimes empruntés par les navires lorsqu'ils ont été comblés par les sédiments.

I.3.1 La problématique du dragage

Le dragage est une opération nécessaire pour maintenir l'activité et la sécurité navale dans les structures portuaires [Bekari et al, 10]. L'entretien des ports est obligatoire car la sédimentation peut atteindre plusieurs mètres. Des problèmes environnementaux, techniques et économiques sont posés suite à cette opération.

En moyenne 50 millions de mètres cubes de sédiments sont dragués tous les ans dans les ports Français. Les quatre grands ports d'estuaires Rouen, Nantes, St-Nazaire et Bordeaux et les cinq ports maritimes Dunkerque, Calais, Boulogne, Havre et la Rochelle [Agostini, 06]. Boutin (1999) donne un volume de 600 Mm3 au niveau mondial en 1991.

Au Maghreb le problème d'érosion, d'envasement et de dragage est vraiment sérieux. Dans les trois pays du Maghreb Maroc, Tunisie et Algérie, les barrages enregistrent une perte annuelle d'une capacité de 125 Hm^3 [Remini, 03] .En Algérie si on prend l'exemple du barrage de Fergoug, il est érigé en 1970 sur l'Oued El-Hammam dans la wilaya de Mascara, emmagasine actuellement 14,07 millions/m3 de vase, soit le taux effarant de 78 % de sa capacité totale. Afin de sauver ces ouvrages précieux pour l'irrigation et l'eau potable, l'agence national des barrages et transfert ANBT a lancé des actions curatives urgentes.

I.3.2 Impact sur l'environnement

Le dragage remanie les sédiments et modifie les équilibres géochimiques [Samara, 2007] avec une remobilisation des contaminants pouvant nuire à l'écosystème. Les conditions hydrauliques favorisent la propagation des contaminants au-delà de la zone concernée.

A l'ouest algérien la plaine de l'Habra qui s'étend sur une centaine de kilomètres en aval du barrage de Fergoug a subi des dégradations irréversibles suite aux dépôts des sédiments charriés lors des opérations de dragage, transformant de vastes aires fertiles en marais [Semcha, 06]



Fig.1- 4 Rejet de la vase draguée

(Barrage de Fergoug)



Fig .1-5 Entraînement de la vase en aval.

(Plaine de la Mactaa)





Fig.1-6 Rejet des sédiments dragués **Fig.1-7.** Dépôt des sédiments dragués
Port Ouest de Dunkerque [Abriak, 10]

I.3.3 Réglementations

Une législation de plus en plus sensible à la protection de l'environnement réglemente désormais le dragage et le relargage des sédiments. Ces opérations de dragage de volumes considérables de matières solides à l'état vaseux, n'ayant pas trouvé de réglementation ni de tradition sur le devenir de ces matériaux issus du dragage, ont eu des retombées négatives sur l'environnement.

Les problèmes écologiques et sanitaires causés par la contamination des sédiments sont réels. Le comportement des sédiments et les phénomènes de transfert de polluants sont mal connus. Les notions de pollution d'un cours d'eau et de toxicité des sédiments sont difficiles à définir.

1.3.3.1 La réglementation Internationale et Européenne

La plupart des textes juridiques portent sur l'immersion des sédiments, qui est la solution traditionnelle et la plus répandue. On peut citer : la convention de Londres, la convention d'Oslo, la convention de Paris et la convention OSPAR.

La convention de Londres (29 décembre 1972) concerne la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets. Entrée en vigueur en 1975, elle a pour objectif de restreindre l'immersion de déchets depuis les navires, aéronefs et plates-formes.

La convention d'Oslo pour la prévention de la pollution marine par les opérations d'immersion effectuées par des navires et aéronefs a été signée le 15 février 1972 et est entrée en vigueur le 6 avril 1974. Elle interdit tout d'abord l'immersion de plusieurs substances toxiques telles que le mercure, le cadmium et leurs composés, les plastiques ou autres matériaux synthétiques persistants, qui peuvent rester en

suspension dans la mer, ainsi que des substances possédant un effet cancérigène. Elle énumère ensuite une série de substances ou de matériaux (arsenic, plomb, cuivre, zinc, cyanure, fluorure, pesticide, conteneur, ferraille, goudron) dont l'immersion nécessite un permis spécifique.

Signée le 4 juin 1974 et entrée en vigueur le 6 mai 1978, *la convention de Paris* pour la prévention de la pollution marine d'origine tellurique.

En 1992, ces deux conventions ont été adoptées en une unique, dite convention *Oslo-Paris* ou «OSPAR» par les commissions d'Oslo et de Paris. La convention a fixé les lignes directrices sur la gestion des matériaux de dragage, Elle a atteint un engagement commun des signataires à prendre toutes les mesures possibles dans le but de prévenir et supprimer la pollution, ainsi que les mesures nécessaires pour la protection de la zone maritime contre les effets préjudiciables des activités humaines, afin de préserver la santé de l'homme et les écosystèmes marins, et de rétablir dans la mesure du possible les zones marines affectées.

La convention OSPAR est beaucoup plus vaste, elle comporte les domaines couverts par les conventions d'Oslo et de Paris, à savoir l'immersion et la pollution tellurique et de nouveaux domaines, qui concernent les pollutions provenant de sources "offshore" et l'évaluation de la qualité du milieu marin. L'objectif de la convention est de prévenir la pollution de la zone maritime en réduisant sans relâche les rejets, émission et perte de substances dangereuses pour parvenir à des teneurs dans l'environnement marin qui soient proches des teneurs ambiantes dans le cas des substances présentes à l'état naturel. L'objectif est d'arriver à la cessation des rejets, émission et perte de substances dangereuses.

Les stratégies de définition des valeurs guides sont abordées dans plusieurs pays. En France, l'arrêté du 14 juin 2000 a défini deux seuils de référence pour huit métaux lourds et sept congénères de PCB dans le cadre d'une analyse de sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire.

Le niveau 1 (N1) pour lequel les concentrations en contaminants au-dessous desquelles l'immersion peut être autorisée. Le niveau 2 (N2) pour lequel les concentrations en contaminants au-dessus desquelles l'immersion ne peut être autorisée que si on apporte la preuve que c'est la solution la moins dommageable pour l'environnement aquatique et terrestre.

Contaminant (mg/kg de Sédiments Secs)	**N1 (NF)**	**N2 (NF)**
Arsenic (As)	25	50
Cadmium (Cd)	1.2	2.4
Chrome (Cr)	90	180
Cuivre (Cu)	45	90
Mercure (Hg)	0.4	0.8
Nickel (Ni)	37	74
Plomb (Pb)	100	200
Zinc (Zn)	276	552
PCB totaux	0.5	1
Hydrocarbures		

Tableau 1- 2. Valeurs seuils des polluants inorganiques et organiques

(NF : *Normes Françaises*)

N1 et N2 : *niveau un et deux de concentration en contaminants. Les sédiments sont classés dans la catégorie des déchets inertes lorsque le niveau un n'est pas atteint, dans la catégorie des déchets dangereux lorsque le niveau un est dépassé et déchets très dangereux lorsque le niveau deux est atteint ou dépassé.*

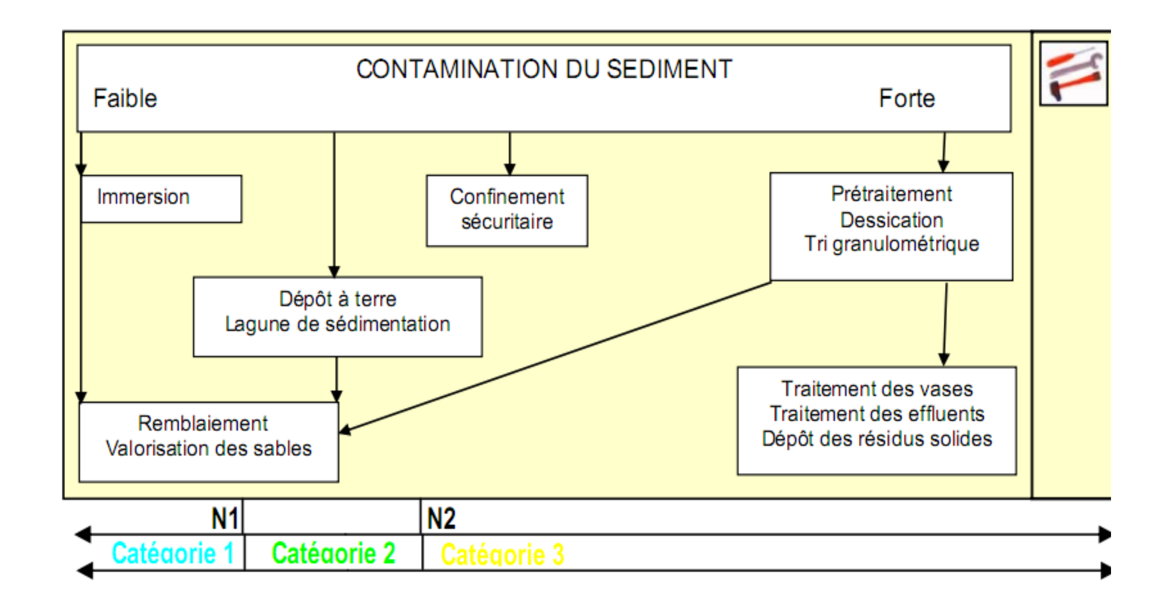


Fig.1-8 Diagramme de gestion des déblais de dragage [Ifremer]

I.3.3.2 Réglementations Nationales

Toutes les opérations d'immersion des produits de dragage et ceux des navires et aéronefs susceptibles de polluer la mer sont réglementés par une autorisation sous la forme d'un permis spécifique. La réglementation est conditionnée par le décret n° 81-

02 du 17 janvier 1981 fait à Barcelone qui permet la prévention de la pollution de la mer méditerranée.

En Algérie [décret algérien n°88-228 du 05 novembre 1988 concernant l'immersion des déchets en mer et le décret algérien n°90-78 du 27 février 1990 concerne les études d'impact sur l'environnement].

Le Tableau3 présente les Teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures (µg/g) dans les principaux ports d'Algérie (les chiffres entre parenthèses représentent les normes).

Ports	**Mercure (1.5*)**	**Cadmium (3*)**	**Plomb (250*)**	**Cuivre (150*)**	**Zinc (500*)**	**Chrome (250*)**	**Hydro carbures (HTC)**
Oran	2.6	2	480	200	800	380	17000
Arzew	0.5	0.2	100	50	230	60	8500
Béthioua	0.35	0.25	48	25	110	35	950
Mostaganem	3.2	0.4	50	65	200	60	8700
Tènès	0.3	1.2	120	40	400	50	1000
Alger	5.8	2.9	870	325	1100	100	30100
Bejaia	0.3	2.8	100	65	440	100	255
Jijel	5.9	2.35	510	190	700	110	415
Skikda (NP)	18	0.12	30	65	170	40	2010
Skikda (AP)	3.3	1.58	120	200	770	70	120
Annaba	1.1	2.5	220	115	400	85	4900

Tableau 1-3. Les teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures des vases marines

(*) : Normes ; HCT : teneurs les plus hautes

Les valeurs seuils règlementaires selon les normes Algériennes concernant la pollution de l'environnement et la contamination des sédiments du laboratoire d'Etudes Maritimes en 2005 (LEM).

Métaux	**Seuils recommandés (mg/kg)**
Cr	250
Zn	500
Cd	3
Pb	250
Hg	1.5
Ni	75

Tableau 1-4. Seuils recommandés [LEM, 05]

I.4. Traitement des sédiments pollués

I.4.1 Inertage chimique

Les sédiments sont lavés afin d'éliminer les chlorures car les sels contenus dans les sédiments marins ne sont ni fixés ni éliminés par le procédé [Agostini, 2005]. Ils ont été ensuite séchés à l'air et en étuve à 40°C. Puis ils ont été traités chimiquement par phosphatation (**ajout de 3%** en masse d'acide phosphorique H_3PO_4 cette étape permet la fixation des métaux lourds, en présence du calcium (Ca) présent naturellement dans les sédiments, l'acide phosphorique permet l'apparition des phases cristallines de type phosphates apatiques qui ont la particularité de piéger les métaux lourds [Agostini, 06], le but de cette étape n'est pas d'éliminer les métaux lourds mais d'empêcher la contamination de l'environnement, lors de la phosphatation un phénomène de moussage se produit entrainant successivement une réduction de la teneur en eau ainsi qu'un gain de temps et d'énergie**.**

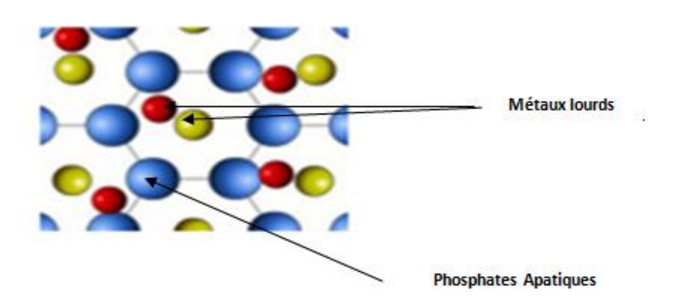


Fig.1-9 Une matrice d'apatite pour stabiliser les métaux lourds [Dirk Breugelmans, 07]

I.4.2 Inertage thermique

Les sédiments sont broyés et tamisés (tamis 63µm) par voie sèche. La calcination a été effectuée par petites quantités, en fonction de la capacité du four disponible. La calcination a été réalisée à une température de 700°C [Kribi, 05 ; Agostini, 06]. Cette technique permet de détruire la matière organique, elle permet également une cristallisation et rend possible un frittage des produits de la réaction de phosphatation [Agostini, 06].

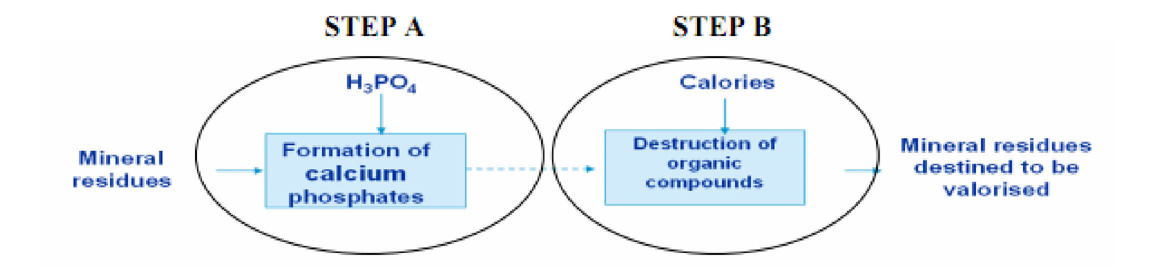


Fig.1-10 Le principe de stabiliser les métaux lourds et la destruction de matière organique [Dirk Breugelmans, 07]

I.5. Valorisation des sédiments

La valorisation des sédiments rejetés s'impose comme solution aux difficultés de stockage et à la nuisance de l'environnement.

Il est raisonnable de ne plus considérer les vases comme déchets et rechercher des voies de valorisation dans un contexte de développement durable.

Trois principes de développement durable: [Semcha, 06]

1- Le rythme d'utilisation des ressources naturelles renouvelables ne doit pas excéder celui de leur régénération.

2- Le rythme d'épuisement des ressources non renouvelables ne dépasse pas le rythme de développement des substituts renouvelables.

3- La quantité de pollution et de déchets ne doit pas dépasser celle que peut absorber l'environnement.

I.5.1 Les Possibilité de valorisation

- Dans l'industrie du BTP:
- Comme liant hydraulique si la vase renferme les minéraux essentiels.
- Par traitement mécanique préalable, les vases peuvent aboutir à des résistances comparables à celles des briques.

I.6. Brève histoire des ports en Algérie

La côte algérienne longe 1200km, partagée en quatorze wilayas maritimes. Chaque wilaya possède un certain nombre de ports, d'abris de pêche et de plages d'échouage. 64 sites de débarquements longent la côte algérienne: 32 ports ; 23 plages d'échouage, Pour redonner la profondeur naturelle à ces ports les responsables sont tenus de les curer régulièrement, ces ports ont perdu en moyenne 1 à 2m de

profondeur, ce qui les oblige à recevoir toujours des navires de faible tonnage à faible tirant d'eau mais à des coûts très élevés, certains d'entre eux sont carrément obligés de s'alléger dans un port pour pouvoir accoster. La survie d'un port dépend réellement de sa capacité à se rénover continuellement. Le tableau1- 5 nous donne la profondeur de dragage de quelques Ports Algériens.

Ports	Profondeurs(m)	Date de dragage
Quai de Conackry et Casablanca(Oran)	8.10	2010
Quai de Mostaganem	7 à 8.5	2009
Quai de Bejaia	15	2005

Tableau 1-5. Profondeur de dragage de quelques quais des ports Algériens [blog de Gildon- elmouja- la vague, 10]

Le volume des sédiments dragués dans les bassins du Port de Khemisti situé à Alger est de 140000 m^3, le devenir des déblais pose problème, le dépôt côtier est à écarter puisque toute la côte est à vocation touristique (Zéralda, Palme Beach, Moretti, Tipaza) [Belkessa et al, 07].

1.7 Brève histoire des barrages en Algérie

L'Algérie dispose d'un parc de 94 barrages en exploitation dont le plus ancien est le barrage Meurad mis en eau en 1852.

Entre 1852 et 1900 à l'Ouest Algérien, furent construit pour des raisons d'irrigation des deux extrémités de la plaine de Mitidja, de nombreux barrages dont le barrage de Chorfa à Sig, le barrage de Ferggoug sur l'oued El-Hammam, le barrage de Hamiz sur l'oued Hamiz.

Après 1900 d'autres barrages réservoirs furent réalisés, à l'exemple du barrage de Bakhada sur l'oued Mina un affluent de Chélif, le barrage de Beni Bahdal sur l'oued Tafna, et le barrage de Bou-Hanifia sur l'oued El Hammam.

Le climat semi-aride et les forts taux d'érosion des bassins versants de cette zone favorisent l'envasement des barrages.

Les barrages réservoirs s'envasent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementaux.

I.8 La problématique retenue

La problématique de l'envasement des retenues de barrage en Algérie reste encore à prendre en charge par les gestionnaires. En parallèle, les recherches antérieures menées dans le cadre de la prise en charge des retombées des opérations de dragage, ont donné des perspectives prometteuses. Notre travail cible le barrage de Bou Hanifia, qui représente une grande importance économique pour la région de Mascara (Ouest Algérien), et qui présente un fort taux d'envasement.

Des opérations de dragage sont en cours. Ce qui va engendrer des quantités importantes de matières solides à prendre en charge (Dépôt, stockage…). Le travail prévu dans le cadre de cette thèse entre dans la perspective de valorisation de ces sédiments dans les domaines du génie civil.

Par ailleurs, nous ne sommes pas contentés seulement de la valorisation de la vase issue du dévasement des barrages, mais aussi à explorer et utiliser la vase issue du dragage du port d'Oran qui subit chaque année un envasement important. En effet le port d'Oran a été construit à l'embouchure de cinq Oueds (Ras El Ain, Rouina, Mina, Cressonnière et le Ravin blanc), qui charrient des quantités importantes de sédiments. Ces sédiments se déposent au gré des courants dans les fonds du port. Les tirants d'eau nécessaires à la navigation sont réduits à chaque fois et cela nécessite de nombreuses opérations de dragage d'entretien.

Dans le contexte de réutiliser la vase dans le domaine de génie civil, et en particulier dans la brique une caractérisation complète a été faite sur les deux types de vase et une comparaison pour l'utilisation du matériau adéquat.

I.9 Conclusion

Les opérations de curage des barrages et des ports en Algérie sont très onéreuses et la nécessité de rechercher d'autres moyens pour assurer la sécurité des populations en matière de préservation de la ressource eau et de l'environnement n'est plus à démontrer. Les méthodes actuelles de prise en charges de ces problèmes tendent seulement à gérer le caractère opérationnel des installations sans se préoccuper du devenir réel des vases et des boues de dragage.

Les premières opérations de dragage effectuées ont vite montré leurs limites en l'absence de prise en charge effective des retombées environnementales.

Le secteur de BTP, offre de nombreuses voies concrètes, moyennant des investissements peu coûteux, pour la valorisation des sédiments longtemps considérés comme déchets gênants.

Chapitre 2

Présentation des Sites

II.1 Introduction

L'invasion du port d'Oran et du barrage de Bouhanifia par les sédiments d'une manière générale pose un réel souci pour les différents utilisateurs, vu l'importance économique de ces bassins situés à l'ouest du pays connu par sa faible pluviométrie annuelle par rapport à l'ensemble du territoire national.

L'accumulation de ces matériaux devient un problème qui s'amplifie de jour en jour et risque de nuire à la navigation maritime et la capacité hydrique des barrages pour le besoin national en eau potable et l'irrigation. La nuisance de ces deux infrastructures de base entraine inéluctablement une baisse de la rentabilité économique du pays.

II .2 Situation géographique du port d'Oran

Le port d'Oran est considéré comme étant le plus important port sur la façade maritime de l'ouest Algérien ; Ce port offre un plan d'eau de 128ha réparti sur sept bassins protégés par des jetées totalisant une longueur de 3500 ml. Le port d'Oran est situé au fond du golfe d'Oran qui est limité à l'Est par la pointe de l'aiguille du Djebel Kristel et à l'Ouest par le Cap Falcon. Le golfe se présente sous la forme d'un croissant de 11km de profondeur et 28,45km d'ouverture.

Sa position géographique est la suivante :

Longitude Ouest : 0º 37 ´ 30´´ et 0º 39' 10"

Latitude Nord : 35° 42´ 35" et 35° 43' 13".



Fig.2-1 Carte de la Midéterannée [google earth]

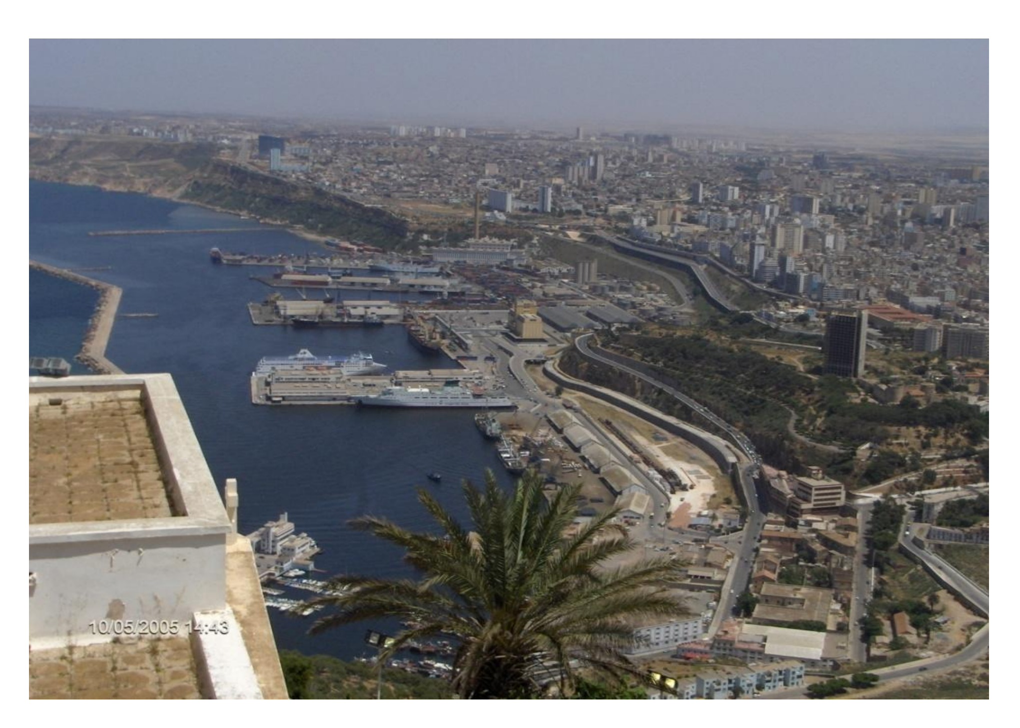


Fig.2-2 Vue Aérienne sur le Port d'Oran



Fig.2-3 Zone de Dragage de la Vase Marine



Fig.2-4 Dragage du Port d'Oran

II.3 Situation géographique du Barrage de Bou- Hanifia

Le barrage de Bou-Hanifia est situé à l'ouest d'Algérie dans la commune de Bou-Hanifia , willaya de Mascara, dans l'oued El Hammam, il fait partie du triplex formé par trois barrages en cascade Ouizert, Bou-Hanifia, Fergoug.

Ce barrage a été construit en **1929**, Année de mise en eau **1940** et Année de réception **1950.**

Il est en enrochements arrimés avec masque étanche en béton bitumineux (2 couches de 6 cm d'épaisseur dont une armée), disposé sur le parement amont et le revêtement de protection en béton armé sur le masque étanche.

Les enrochements reposent sur un filtre de protection cloisonné (5 couches successives de matériaux de plus en plus gros) destiné pour éviter l'érosion. Le barrage de Bou-Hanifia est alimenté principalement par oued El Hammam en plus de la présence en amont sur le même oued d'un autre grand barrage Ouizert qui lui transmet une quantité non négligeable de sédiments fins en suspension lors des lâchées. Cet ouvrage est localisé dans les chaines telliennes à forte érosion, envasé à 53% sachant que sa capacité initiale était 73 hm^3 et sa capacité du dernier levé en 2012 était de 34,52 hm^3.

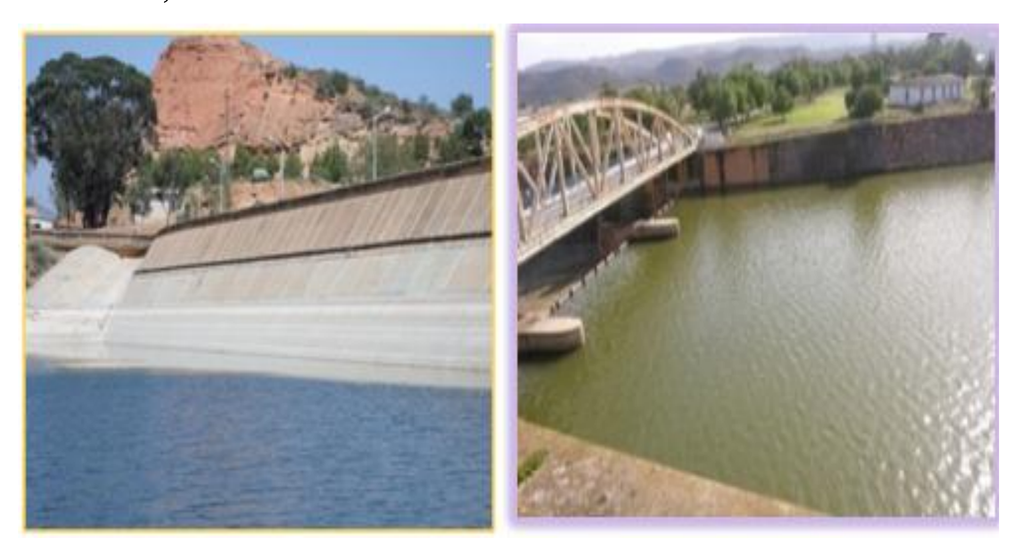


Fig.2-5 Barrage de Bou-Hanifia

Le bassin versant de l'oued El Hammam en amont du barrage de Bou-Hanifia couvre une superficie de **5570 km^2** avec un apport moyen annuel de **80 Hm^3** selon l'agence nationale des barrages et transferts ANBT.

Il est sous l'influence du climat méditerranéen dont la température oscille entre 8° C et 10° C en hiver à +30° C en été, avec une moyenne des précipitations de 350 mm par an [Kazi et al, 14]

II.4 Le devenir des sédiments dragués

L'agence nationale des barrages et transferts (ANBT) a lancé des actions curatives urgentes. Ces actions alternatives de dévasement sont incontournables si on veut permettre aux barrages de continuer à sécuriser la ressource d'eau potable et les besoins de l'irrigation. L'opération de dévasement du barrage de Bou-Hanifia a été confiée à l'entreprise Algéro-libanaise, entamée en 2010 et prolongée en juin 2013 jusqu'à nos jours. Le marché consiste à extraire de la retenue du barrage, une quantité de six millions de mètre cube de vase (6 000 000 m^3), et pour lutter contre la nuisance à l'environnement, la vase draguée ne serait pas déversée dans la mer via le cours de Oued El-Hammam, la solution préconisée était la réalisation de 15 bassins de capture de matériaux dragués. De grands bassins de décantation des boues ont été aménagés sur une superficie de 200 hectares de terres située à 8 km en amont du barrage. Les eaux boueuses pompées du réservoir du barrage sont acheminées par des canalisations jusqu'aux bassins de décantation avant d'être de nouveau réinjectées dans leur lieu d'origine, le barrage en l'occurrence.

L'installation de ces bassins tend à se préoccuper du devenir réel des vases et des boues de dragage. Voir figure 2-6

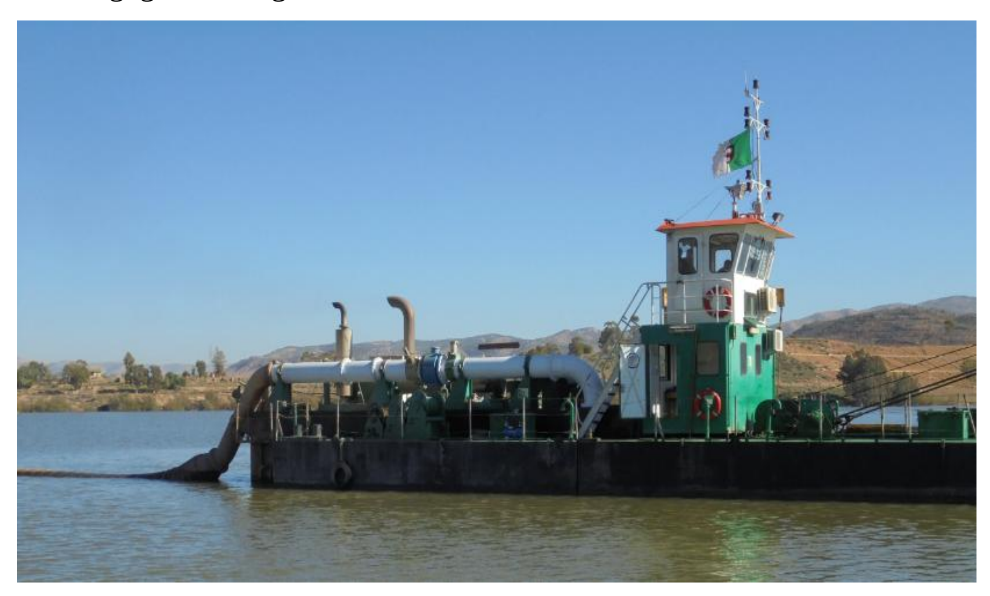


Fig.2-6 Dragage du barrage de Bou-Hanifia 2016



Fig.2-7 Bassin de Rejet et Capture de la Vase Draguée

Le cas du port d'Oran a nécessité le dragage des différents quais à l'aide d'une drague à benne. Le projet de dragage a été entamé en 2009, le volume total des sédiments à draguer sur l'ensemble des bassins a été estimé à 71.000m^3. La solution la plus judicieuse était en ce temps le relargage au fond des mers.



Fig.2-8 Plan du bassin de Mostaganem et de ses quais [Google Earth]

II.5 Conclusion

Les rapports entretenus entre la ville d'Oran et son port sont historiques, la ville doit sa prospérité aux activités du port dont l'ambition est d'en faire un grand port sur la rive sud de la méditerranée.

Les potentialités du port en matière d'infrastructures d'équipement et des services font de la ville d'Oran un pole économique en mesure de concurrencer d'autres métropoles méditerranéennes importantes. En effet des plans de développement portuaires sont inscrits annuellement pour la préservation des infrastructures existantes. L'impératif du maintien des quais et des voies navigables en bon état.

Le barrage de Bouhanifia est une infrastructure de stockage des ressources hydriques. Son rôle pour le développement de l'agriculture et l'approvisionnement de la population en eau potable est très important.

Les opérations de curage des ports et des barrages en Algérie sont très onéreuses et la nécessité de rechercher d'autres moyens pour assurer la sécurité des populations en matière de préservation de la ressource eau et de l'environnement n'est plus à démontrer.

Chapitre 3

Caractérisation des Sédiments Dragués

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une description détaillée du sédiment dragué utilisé, les différentes techniques de caractérisation du sédiment ainsi que la méthodologie d'étude. Cette méthodologie sert à bien tracer le chemin qui mène à la faisabilité ou non de ce matériau.

Notre recherche a ciblé principalement les sédiments marins du port d'Oran et celles du barrage de Bou-Hanifia dans le but d'assurer la faisabilité technique de l'utilisation de ces déchets dans les matériaux de construction tels que la brique à bâtir.

III.2 Méthodologie suivie

Avant l'adoption de tout processus de récupération, une méthodologie de travail et de faisabilité est requise. L'étude de la méthodologie est illustrée Figure 3-1. L'analyse est réalisée par tamisage à sec après lavage effectué selon la norme NF P 94-056, afin de séparer par tamisage les particules de dimensions inférieures à 80μm, puis une analyse par la sédimentométrie en se référant à la norme NF P 94 -057.

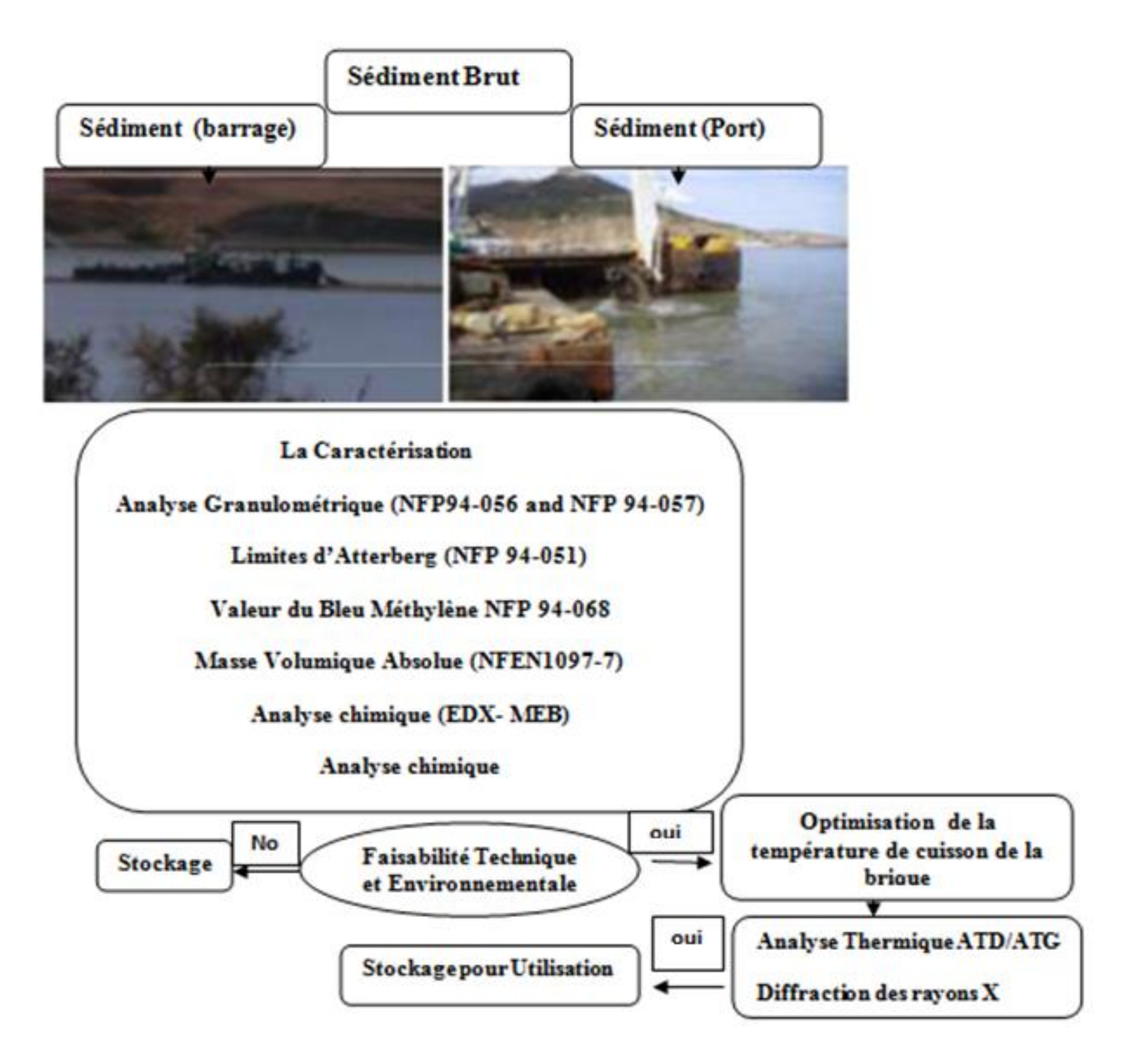


Fig.3-1 Méthodologie d'étude

III.3 Caractérisation du matériau brut

III.3.1 Caractérisation environnementale

Les sédiments marins sont issus d'une zone fortement polluée d'où la nécessité d'une caractérisation environnementale. L'étude environnementale a été faite en respectant les seuils recommandés par le Ministère Algérien de l'Environnement [décret algérien n°88-228 du 05 novembre 1988 concernant l'immersion des déchets en mer et le décret algérien n°90-78 du 27 février 1990 concerne les études d'impact sur l'environnement].

Contaminant	Seuils recommandés MATE(Algérie) (mg/kg de Sédiments Secs)	Bassin de Mostaganem (Port d'Oran)	
		Quai de Safi	Quai de Casa
Cadmium (Cd)	3	0.08	0,16
Chrome (Cr)	250	34.16	118.3
Mercure (Hg)	1.5	1.64	1.02
Nickel (Ni)	75	342.5	399.6
Plomb (Pb)	250	42.24	89.65
Zinc (Zn)	500	390.8	335.5
Hydrocarbures (LEM 2005)	300	10000	12000

Tableau 3-1. Analyse environnementale de la vase du port d'Oran

Cette étude indique de fortes concentrations en polluants inorganiques à savoir les métaux lourds tels que le mercure, le nickel, et en polluants organiques tels que les hydrocarbures qui dépassent beaucoup les seuils recommandés par le Ministère Algérien de l'Environnement, [décret algérien n°88-228 du 05 novembre 1988 concernant l'immersion des déchets en mer et le décret algérien n°90-78 du 27 février 1990 concerne les études d'impact sur l'environnement], l'étude faite par le laboratoire d'études maritimes LEM en 2005 est comparable à celle faites par le Dr. A. CHALABI en 2002 sur les différents ports d'Algérie. Sur le port d'Oran l'analyse des sédiments portuaires indique des teneurs élevées en métaux lourds tel que le plomb, le cuivre, le Zinc et le chrome; les hydrocarbures marquent un taux de 9700 plus élevé que celui de LEM.

L'environnement avoisinant du barrage est de nature n'entrainant pas la pollution du bassin, les divers charriages des sédiments présentent généralement un très faible taux de matières toxiques. Ce constat est d'autant plus vrai du fait de l'éloignement du barrage des sites industriels rejetant les matières polluantes.

III.3.2 Mesure de la teneur en eau (NF P 94-050)

L'échantillon est séché à l'étuve selon la norme NF P 94-050 à 105°C jusqu'à une masse constante, cette norme permet de qualifier le sol par la mesure de la teneur en eau. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de

l'échantillon initial cette mesure est exprimée en (%). Les résultats d'analyse ont été faits au laboratoire LABMAT de génie civil ENPO, illustrés dans le tableau 3-2

	Vase du Port	**Vase du barrage**
Teneur en eau (%)	60	49.8

Tableau 3-2. La teneur en eau de la vase issue du port et du barrage

III.3.3 La Granulométrie (NF P 94-057)

On peut séparer le sédiment en trois catégories, la fraction argileuse <2µm la fraction limoneuse (2 à 63µm) et la fraction sableuse > 63µm.

L'analyse a été faite par tamisage à sec après Lavage effectuée conformément à la norme NF P 94-056, la fraction inferieur à 80µm a été donc séparée par tamisage puis analysée par la méthode sédimentométrique [norme NF P 94- 057].

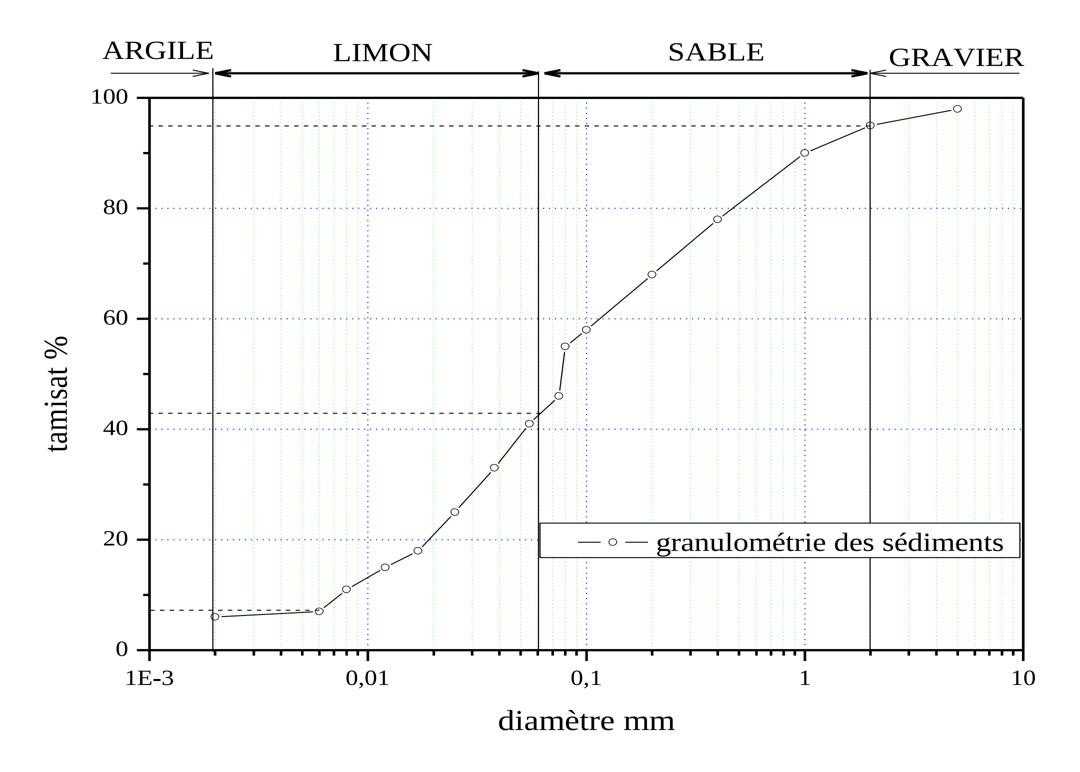


Fig.3-2 Analyse granulométrique de la vase marine (Port Oran)

La vase marine d'après les résultats d'analyse granulométrique par tamisage et sédimentométrie est un sable limoneux avec une faible fraction d'argile.

La vase draguée au niveau des barrages est une argile ce qui a été confirmé par l'analyse granulométrique à laser. La granulométrie à laser permet de déterminer La répartition granulaire des particules fines inférieures à 80µm.

L'analyse a été faite au laboratoire Lafarge grâce à l'appareil MALVERN ; ce dernier permet de donner une grande précision pour la fraction fine.

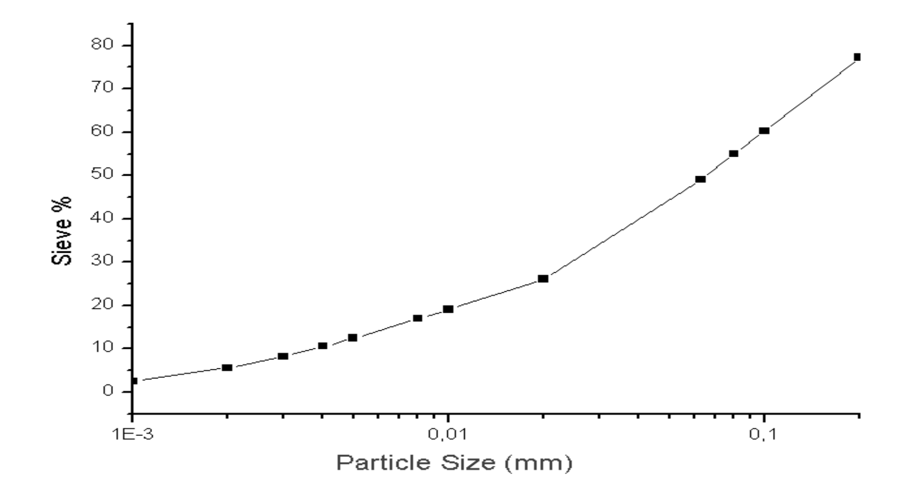


Fig.3-3 Analyse granulométrique de la vase issue du barrage Bou-Hanifia

	% de gravier	% de particules dégraissantes	% de particules poussiéreuses	% de particules argileuses
Vase du port	**10**	**65**	**20**	**5**
Vas du barrage	**0**	**11.96**	**73.63**	**14.41**

Tableau 3-3. Taux en % des particules granulométriques de la vase du dragage

III.3.4 Les limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Les teneurs en eau qui délimitent les états de consistance d'un sol, sont appelés les limites d'Atterberg ou limites de consistance.

Ces limites se présentent en pourcentages (la limite de liquidité et de plasticité).

Cet essai est effectué uniquement sur les éléments fins du sol et consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance. Il permet également de faire une classification du sol (en particulier avec la classification du laboratoire central du LCPC pour les ponts et autoroutes).

La limite de liquidité %	La limite de plasticité %	Indice de plasticité %
50	28	22

Tableau 3-4. Les limites d'Atterberg de la vase du barrage

III.3.5 Mesure de la valeur du bleu méthylène (NF P 94-068)

L'essai du bleu de méthylène dit essai de la tache selon la norme NF P94-068 octobre 1998. Cet essai permet d'apprécier globalement l'activité de la fraction argileuse d'un sol en mesurant la surface interne et externe des grains argileux. L'essai consiste à ajouter des quantités bien déterminées de bleu méthylène à une solution contenant une certaine quantité de la fraction 0/2mm de l'échantillon à analyser. Après avoir séché l'échantillon à 105C° on prend une mesure de 70g ajouté à 500ml d'eau distillée la solution est mélangée en continue grâce a un agitateur a ailettes. On détermine la quantité du bleu méthylène capable d'être fixée par les molécules d'argiles et on en déduit la valeur au bleu du sol cette valeur est exprimée en gramme de colorant par kilogramme de la fraction 0/2mm.

On a la masse du bleu introduite en gramme B=V*0.01

La valeur du bleu méthylène selon la formule VBS= B/M_0 *C*100

M_0 est la masse sèche.

V est le volume total de la solution de colorant injecté en millimètres

C est la fraction d'éléments inferieur à 2µm.

Cet essai permet de classifier les sols

VBS=0.1 sol insensible a l'eau

VBS=0.2 apparition de la sensibilité a l'eau

VBS=1.5 seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux

VBS =2.5 seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux à plasticité moyenne.

VBS=6 seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux

VBS=8 seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.

Selon la classification et d'après nos résultats le **VBS=1.28,** donc la vase marine admet une faible fraction argileuse. Le résultat de la vase du barrage est encourageante **VBS= 6.7,** On peut classer notre vase de dragage selon la classification du guide des terrassements routiers (GTR 2000) comme étant des sols argileux**.**

	Vase du Port	**Vase du barrage**
Valeur du bleu méthylène (VBS)	1.28	6.7

Tableau 3-5. La valeur du bleu méthylène de la vase issue du barrage et du port

III.3.6 Masse Volumique Absolue

La mesure de la masse volumique absolue a été réalisée par la méthode du pycnomètre à eau suivant la norme NF P 94-054 au laboratoire de la Cimenterie de Beni Saf. Les résultats sont comme suit :

Sédiment Brut	**Vase Marine**	**Vase issue du Barrage**
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.3	2.6

Tableau 3-6. Masse volumique absolue de la vase issue du barrage et du port

La masse volumique absolue (masse volumique des grains solide ou de la matière pleine a une valeur de 2.66 g.cm^{-1}, cette valeur est comparable a celle de calcite (2.6 - 2.8 g.cm^{-3}) ou de quartz (2.6 g.cm^{-3}). [Agostini, 06 ; Mazen, 12]

III.3.7 La Surface Spécifique

L'essai de Blaine a été fait au laboratoire de la cimenterie de Béni Saf suivant la norme EN 196-6. Cette mesure est l'une des principales caractéristiques physiques

d'un matériau. Elle permet de déterminer la finesse su matériau, qui sert à prévoir l'effet ce cette addition Sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais.

Sédiment Brut	**Vase Marine**	**Vase issue du Barrage**
Valeur de S.S.B (Cm^2/g)	2515	3666

Tableau3-7. Surface spécifique de la vase issue du barrage et du port

III .3.8 Analyse chimique

La caracterisation chimique dans le tableau donne le pourcentage des differents oxydes du sédiments issus du port d'Oran et du Barrage de Bouhanifia.

Oxydes (%)	**Vase issue du Barrage**	**Vase issue du Port**
SiO_2	49.36	70.17
CaO	10.03	12.9
Al_2O_3	12.26	3.29
Fe_2O_3	5.13	0.27
MgO	2.34	-
SO_3	1.77	-
Cl	0.0	1.46
$CaCo_3$	12.59	30.9
K_2O+ Na_2O	1.27	-
TiO_2	0.63	-
PAF	15.15	23.4

Tableau 3-8. Analyse chimique de la vase issue du barrage et du port

Selon les résultats obtenus la vase du barrage est un silico-argile, par contre la vase issue du port est un silico-calcaire. L'apparition du chlore et le taux de carbonate élevé dans la vase marine est un signe de contamination et de fragilité.

III.3.9 Microscopie électronique à balayage et analyses chimiques (MEB-EDX)

La technique de caractérisation effectuée au laboratoire L2MGC (Cergy Pontoise France) est l'analyse par microscope électronique à balayage MEB, couplée à de l'analyse chimique élémentaire par spectrométrie à dispersion d'énergie des rayons X (EDX). Les observations ont été effectuées sur un microscope électronique à balayage LEICA S430 fonctionnant en mode électrons secondaires (Fig.3-4)



Fig.3-4 Microscope Electronique à Balayage MEB

Avant d'analyser l'échantillon, ce dernier est recouvert d'une couche mince de métal par pulvérisation de manière à rendre la surface conductrice (voir métalliseur en figure3-5). Ce traitement est primordial car il permet l'observation de l'échantillon et d'éviter toute charge nuisible à la qualité de l'image. Le métal conducteur employé est le nickel. Celui-ci est préféré à l'or compte tenu de son "poids atomique" plus faible. En effet lors de l'analyse chimique, les éléments de faibles "poids atomique" ne seront pas masqués par la métallisation.



Fig.3-5 Métalliseur

Le détecteur, de type Silicon Drift, utilisé pour l'analyse chimique est un Quantax de marque Bruker AXS Microanalysis GmbH. Il permet de faire l'acquisition de spectres en dispersion d'énergie des rayons X et donc d'identifier les éléments présents dans l'échantillon. Par des méthodes de correction et de calculs mathématiques, dans notre cas PhiRhoZ, il est possible de quantifier les éléments détectés.

Préparation des échantillons

- Sous forme de poudre : la poudre est directement versée sur un porte échantillon préalablement enduit de laque de carbone. Qui permet de coller l'échantillon et de le rendre conducteur sur la face inférieure. L'échantillon ainsi préparé est ensuite métallisé puis introduit dans la chambre du MEB.

- Sous forme de pastille : cette mise en forme a été utilisée afin de réaliser les analyses chimiques dans des conditions optimales, c'est-à-dire une surface plane. La poudre est compactée à l'aide d'une presse à pastille manuelle. La pastille obtenue est collée sur un porte échantillon avec du scotch de carbone double face puis métallisée avant d'être introduite dans la chambre du MEB.

III.3.9.1 Principe d'analyse EDX

Les spectres des rayons X sont exploités pour réaliser une micro analyse chimique d'échantillon. Ainsi, quand le spot électronique du faisceau incident atteint une micro surface de l'objet, chaque atome du micro volume sous-jacent peut émettre un spectre de RX avec ses raies caractéristiques. La capture et le traitement des RX permettent une analyse en énergie (Kev) des raies, ce qui conduit à l'identification des atomes présents dans la zone pointée par la sonde. Il va donc être possible pour chaque zone pointée de tracer un spectre dispersif avec, en abscisses, les énergies des photons, et en ordonnées, le nombre de photons reçus. L'interprétation des spectres est facilitée par une base de données qui contient pour chaque élément les énergies et les intensités des raies qu'il produit.

EDX est couplé à l'analyse par Microscope électronique à balayage MEB ; cette technique est capable de produire des images de la surface d'un échantillon en haute résolution pouvant atteindre quelques nano mètres et avec une très grande profondeur de champs.

III.3.9.2 Résultats d'analyse

Résultats quantitatifs du spectre : Selon l'analyse on remarque un pourcentage élevé de silice. La micro analyse révèle une importante présence de l'élément **C**, ce qui n'est pas surprenant compte tenu que la vase est non traitée.

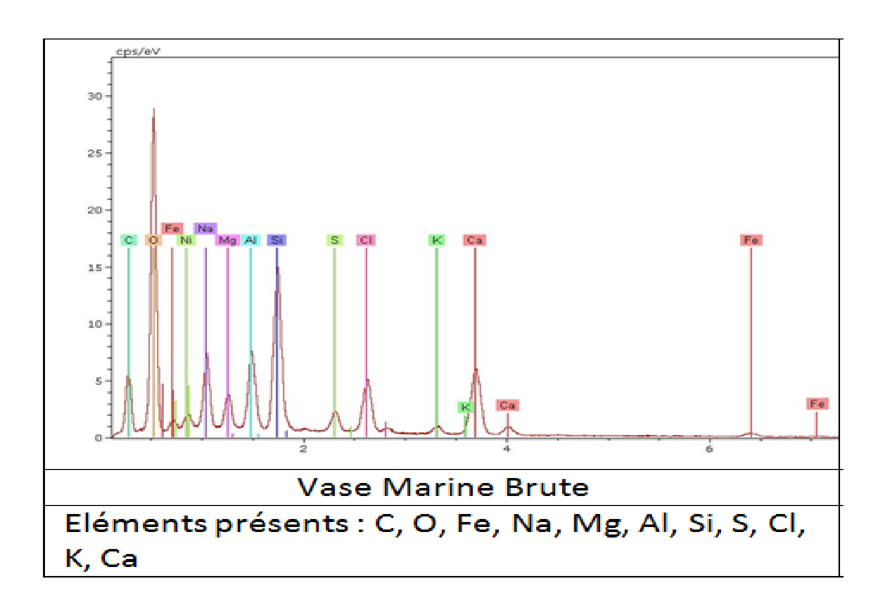


Fig.3-6 Analyse chimique EDX vase marine

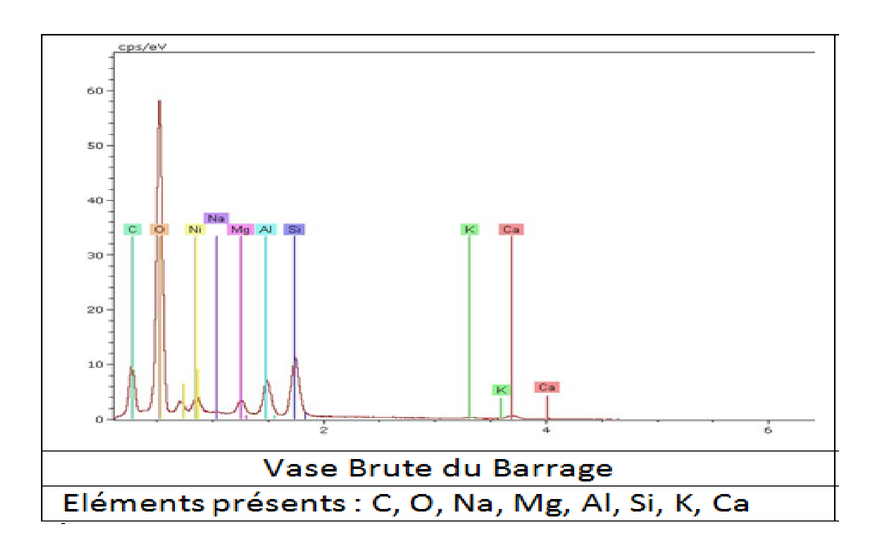


Fig.3-7 Analyse chimique EDX vase du barrage

III.3.9.3 Images Topographiques

L'observation au microscope électronique à balayage permet de donner une morphologie pour le matériau.

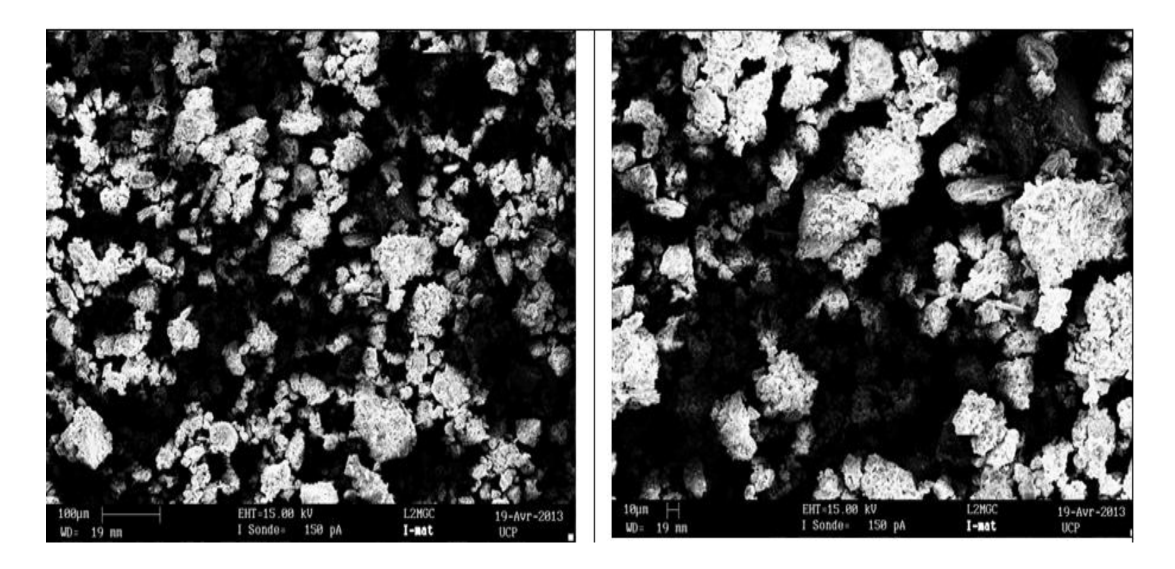


Fig.3-8 Image MEB **(**Vase Crue du Port d'Oran)

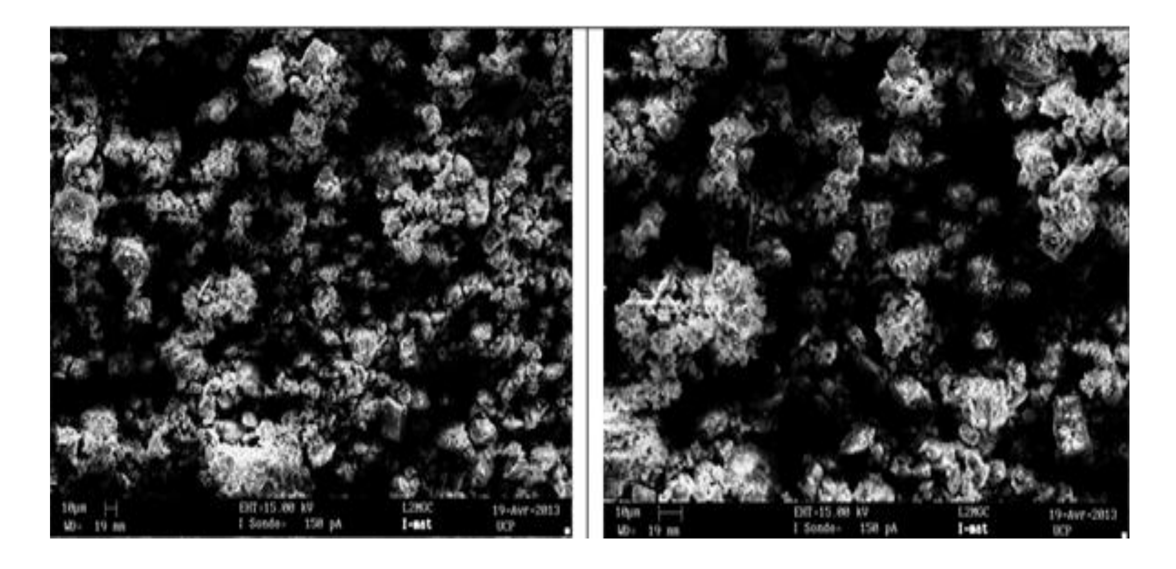


Fig.3-9 Image MEB (Vase Crue du Barrage de Bou-Hanifia)

Les images topographiques MEB donnent la morphologie de la vase crue du port d'Oran et du barrage de Bouhanifia.

La contamination détectée lors d'identification de la vase marine donne des images surfaciques effritées. Ce qui nous permet de dire que la vase marine est fragile.

La vase issue du barrage parait plus compacte.

III.4 Conclusion

D'après les résultats de la caractérisation on relève les points suivants:

La caractérisation environnementale indique un taux élevé de polluants organiques et inorganiques dans les sédiments dragués du port d'Oran.

L'analyse granulométrique montre que la vase marine est un sable limoneux par contre la vase draguée au niveau du barrage de Bou-Hanifia est un limon argileux.

Les traces d'argiles sont détectées par le bleu méthylène dans la vase du barrage.

La masse volumique absolue (masse volumique des grains solides ou de la matière pleine) a été mesurée en utilisant un pycnomètre a hélium. Une valeur de 2.6 g.cm-1 a été obtenue (selon [Mazen, 12], 2.66g.cm-1, cette valeur est comparable a celle de calcite (2.6 -2.8 g.cm-3) ou de quartz (2.6 g.cm-3).

Cela rejoint les analyses DRX qui ont montré que le sédiment traité est composé majoritairement de quartz avec une présence marquée de calcite et d'hématite.

Les spectres observés à l'analyse chimique EDX donnent un taux élevé d'oxygène dans la vase issue du barrage de Bou-Hanifia ce qui justifie sa non pollution, en outre cette dernière est riche en oxygène comparée à la vase marine qui en contient moins. Les polluants détectés lors d'analyse de la vase marine fragilise le matériau et le rendent effrité et moins compact. Les photos topographiques par le MEB montrent clairement la fragilité de la vase marine qui résulte de la contamination.

D'après les essais faits sur les différents échantillons nous concluons qu'à l'état cru et sans corrections la vase marine ne s'apprête pas à être utilisée dans la brique. Cependant la vase issue du barrage de Bou-Hanifia a donné des résultats préliminaires satisfaisants pour la confection de la brique. La rentabilité économique et environnementale nous parait en faveur de la vase du barrage.

Chapitre 4

Procédé de Fabrication de la Brique à Base de la Vase du Barrage

IV. 1 Introduction

La terre crue, est une des ressources naturelles les plus abondantes et les plus faciles à mettre en œuvre. Ce matériau, depuis les temps les plus reculés était à la base de la construction des plus grands monuments à travers le monde, tels que la grande muraille de Chine, les ziggourats assyriens, les remparts de Babylone, la structure du Colisée à Rome, la basilique Sainte Sophie à Istanbul, et d'autres. Toutefois, si elle ne manque pas d'atouts, elle souffre encore aujourd'hui d'une absence de reconnaissance, de la perte des savoirs faire transmis oralement, et du manque de normes internationales. Malgré cela, la terre crue présente de nombreux avantages susceptibles de répondre aux attentes économiques et écologiques; en effet, elle est aujourd'hui en parfaite adéquation avec la démarche d'éco-construction qui lui confère un avenir prometteur dans les constructions neuves, ainsi que dans les chantiers de rénovation.

Plusieurs ouvrages ont traité l'histoire de la brique depuis les civilisations anciennes jusqu'aux constructions contemporaines, comme [Chabat, 81 ; Campbell, 04 ; Peirs, 05 ; El Fgaier, 13]. En effet, les qualités techniques et esthétiques de ce matériau se sont adaptées au fil des siècles, pour répondre aux exigences d'aujourd'hui et de demain en matière de durabilité, de confort thermique et acoustique, de bien-être et d'impact environnemental et écologique. Le secteur briquetier a suivi une évolution assez importante dans les techniques de mise en œuvre et les systèmes constructifs.

En France, l'industrie de la terre cuite est investie dans la recherche et le développement au cours de ces dernières décennies, pour améliorer les outils de production et les performances des différents produits [Elfgaier, 13]. La production des différents types de tuiles (plates, petit moule, grand moule, canal et accessoires de couverture).

Briques de structure : Brique de mur, brique de cloison, hourdis et conduits de fumée.

- Briques apparentes et pavage : Briques pleines, briques perforées, blocs perforés apparents, plaquettes et angles, briques de pavage.

- Autres produits : Carreaux et tomettes, claustras, drains, accessoires en terre cuite à connu une croissance significative sur la dernière décennie.

A l'instar des pays qui ont fait de la terre cuite la base de la constructions de leurs monuments historiques, les pays d'Afrique du nord notamment l'Algérie n'a pas dérogé à la règle et fut un lieu privilégié ou des plus imposants édifices ont été érigés et classés aujourd'hui monuments historiques par l'Unesco; comme la casbah d'Alger, les ruines romaines de Djemila, la vallée du Mzab ; Kalâa des bénis Hammad ; Timgad, et Mansoura entre autres. Actuellement une attention particulière est donnée pour l'utilisation de la brique cuite comme un produit de substitution par excellence. Néanmoins les besoins dépendent en conséquence de l'importance du programme d'habitat et d'équipements divers, décidé par les différents Maîtres d'Ouvrages et du rythme de réalisation induit par les possibilités de financement et la qualification des entreprises.

IV.2 Les Matières Premières

Les matières premières utilisées pour la fabrication de ces produits en terre sont l'argile et le sable. Les argiles sont les plus importantes et permettent le façonnage grâce à leurs propriété spéciale de plasticité. Le caractère de l'argile est une roche tendre géologiquement, plus ou moins onctueuse et imperméable. Elle est toujours détritique et généralement sédimentaire. D'après le petit LAROUSSE illustré (édition 1984), la plasticité permet de déterminer la quantité d'eau et celle du dégraissant ajouté. Les matières premières utilisées dans la fabrication des produits de terre cuite sont principalement : [Samara, 12]
Les terres argileuses contenant une forte proportion d'argile qui leur donne leur aptitude au façonnage et leurs propriétés mécaniques après cuisson.

Les dégraissants (sables de quartz, chamotte, cendre volante, des roches dures broyées : basaltes et micaschistes) pour fournir la structure à la céramique (squelette), pour réduire la température de fusion lors de la cuisson (fondant) et réduire la plasticité de la pate. L'eau : pour adapter la plasticité de la pate.

IV2.1 Les Argiles

L'argile est une « Roche sédimentaire terreuse, imperméable, formée surtout de silicates d'aluminium et qui est imbibée d'eau malléable ». Elle peut être verte, rouge, jaune, brune, grise, blanche…etc. ainsi donc les terres exploitées pour la

réalisation des produits dits de terre cuite peuvent être différentes selon le gisement et la composition chimique.

Les argiles sont des silicates d'alumine hydratés. Minéraux cristallisée basés sur l'empilement de deux types de feuillets :

Feuillets siliceux (silice SiO2) : Couche de tétraèdres de silice

Feuillets hydro-alumineux (Al(OH) 3 : Couche d'octaèdres d'alumine hydratée

Les minéraux essentiels dans la fabrication des terres cuites sont :

• L'Argile : pour assurer la plasticité

• Le Fondant comme le feldspath (matériau qui abaisse le point de fusion).

• Le Filler ou dégraissant généralement inerte comme le quartz qui amène la résistance et diminue le retrait lors du séchage

IV2.2 La Composition Chimique de l'Argile

La composition chimique des argiles pour la brique et la tuile varie approximativement comme suit

La silice SiO_2 …………………………de 35% à 80%

L'alumine Al_2O_3…………………….. de 9 % à 25%

Le Fer Fe_2O_3 ……………………... de 2.5% à 9 %

Le titane TiO_2………………………… de 0.3% à 2.5%

La chaux CaO……………………….. de 0.5% à 25%

La magnésie MgO…………………… .de 0 % à 3%

L'anhydrite sulfurique SO_3 ………….. de 0% à 4 %

L'anhydrite carbonique CO_2………….. de 0% à 14%

Les oxydes alcalins (K_2O+Na_2O)……de 0.5 % à 6%

IV2.2.1 La Silice SiO_2

Elle se trouve dans les argiles sous forme liée et libre. La forme liée est présentée par les minéraux argileux (kaolinite, montmorillonite, hydro micas….). La forme libre est donnée par le sable quartzeux ou par les fines particules poussiéreuses. Lorsque les sables rentrent dans de fortes proportions dans la composition d'argile, ils diminuent la plasticité, le retrait et la résistance mécanique.

IV2.2.2 L'alumine Al_2O_3

Elle se trouve dans les argiles sous forme liée et rentre dans la composition des minéraux argileux. De fortes teneurs en alumine donnent aux argiles une grande plasticité et une meilleure résistance aux produits cuits.

IV2.2.3 L'oxyde de Fer Fe_2O_3

Il donne une coloration rouge au produit cuit.

IV2.2.4 L'oxyde de Titane TiO_2

Son rôle est de donner une coloration verdâtre au produit

IV2.2.5 La chaux CaO et l'oxyde de Magnésium MgO

Ils rentrent dans la composition des roches carbonatées sous forme de CaCo3 et MgCO3. Les CaCO3 ont des effets néfastes sur la brique, éclatements superficiels ou même la destruction totale. Le carbonate de chaux se décompose au cours de la cuisson et forme de la chaux vive CaO. Une partie de cette chaux vive se combine avec les éléments de l'argile pour former des silico-aluminates de chaux stables et l'autre partie reste dans le produit à la sortie du four. Sous l'action de l'humidité ou de l'évaporation d'eau, elle perd son eau et se carbonate sous l'action du gaz carbonique qui circule dans l'air. Lors de ces réactions chimiques des grains de calcaires formés augmentent le volume de la matrice et provoquent des fissures, et avec la pluie cette chaux vive se transforme en chaux éteinte.

Oxydes	Vase Brute %	Seuils recommandés %	Argile de la briqueterie de Remchi (Tlemcen) %
SiO_2	49.36	35 à 85	47.91
Al_2O_3	12.26	9 à 25	14.4
Fe_2O_3	5.13	3 à 9	5.94
CaO	10.03	0 à 25	10.4
MgO	2.34	0 à 5	2.73
SO_3	1.77	0 à 3	0.4
K_2O+Na_2O	1.27	1 à5	2.79
TiO_2	0.63	0.3 à 2	0.78
PAF	15.15	13	14.44

Tableau 4-1. Analyse Chimique Comparative avec argile d'une Briqueterie et les seuils recommandés.

Chaque matériau conçu pour la fabrication de brique cuite possède certaines proportions de minéraux argileux qui lui permettent d'avoir l'aptitude au façonnage et avoir les caractéristiques de résistance après cuisson.

IV.3 Les Principaux Défauts de la Brique

Les principaux défauts peuvent être soit de la matière première soit du non respect des paramètres de fabrication.

IV.3.1 Défauts dus à la matière première

IV.3.1.1 Efflorescence

Sous forme de taches blanches qui apparaissent sur les produits secs. Ces efflorescences sont dues à la présence de sels solubles contenus dans les matières premières.

IV.3.1.2 Inclusions nuisibles

Les inclusions nuisibles apparaissent sur le produit cuit sous forme de grain de chaux ou de gypse.

IV.3.2 Défauts dus au non respect des paramètres de technologie de fabrication

IV.3.2.1 Eclatements

L'éclatement de la brique provient principalement lors d'un échauffement trop rapide au moment ou l'eau zéolitique ou de constitution se vaporise au cours de la cuisson.

IV.3.2.2 Cœurs noirs

Le phénomène de cœur noir correspond au développement d'une teinte noire dans les zones internes d'un produit de terre cuite.

En milieu oxydant l'oxyde de Fer dans la couleur rouge, et dans le milieu insuffisant d'oxyde la couleur noir apparait. Ce phénomène n'est pas nuisible pour la qualité du produit.

IV.3.3 Les essais de durabilité les plus importantes

IV.3.3.1 Essai d'absorption

L'absorption d'eau, la porosité et la masse volumique sont des paramètres importants pour la formulation d'une brique cuite. L'absorption d'eau et la porosité intra granulaires influencent le dosage d'eau pendant la préparation des échantillons de brique car une partie de cette eau reste a l'intérieur des particules agglomérées et sera ensuite chassée pendant le séchage [Samara, 12]

IV.3.3.2 Resistance au gel dégel

L'essai de gélivité (25 cycles de gel dégel) ne doit pas entrainer de perte de masse supérieure à 1% de la masse initiale de la brique. La résistance au gel d'une brique est liée plus à la distribution de la taille des pores qu'à la porosité totale.

IV.4 Optimisation de la Température de Cuisson

IV.4.1 Analyse Thermique ATD/ATG

Il existe différentes analyses thermiques. Celles utilisées au L2MGC sont l'analyse thermogravimétrique (ATG) et l'analyse thermique différentielle (ATD). La première permet de mesurer la variation de masse d'un échantillon en fonction de la température, la seconde permet de mesurer la différence de température entre l'échantillon à analyser et une référence en fonction de la température. Celle-ci permet d'identifier des transformations se produisant dans l'échantillon (changements de phase, évaporation, etc.…).

L'appareil utilisé, STA 449 F1 Jupiter de Nietzsche, permet de coupler ces deux types d'analyses thermiques. Il est composé d'un four allant jusqu'à 1500°C pour gérer la température, d'une balance et de thermocouples pour mesurer la température (**Fig.4-1**).

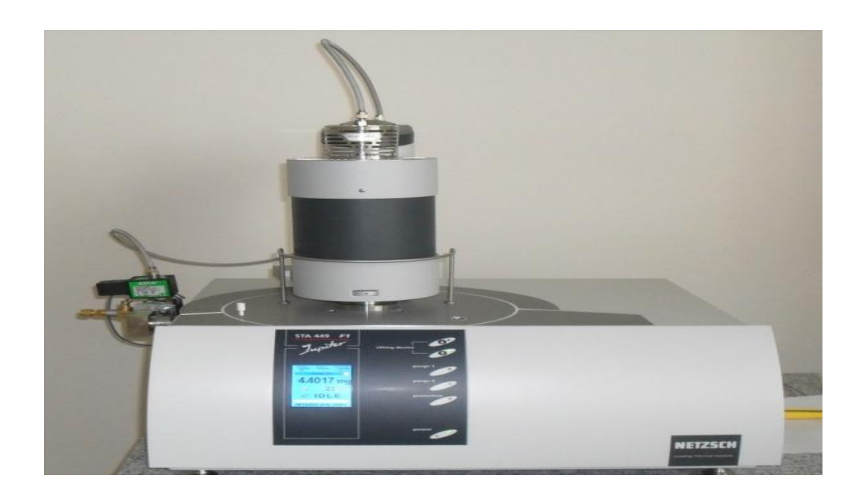


Fig.4-1 STA 449 F1 Jupiter

Les analyses ont été effectuées avec un gaz inerte, dans notre cas l'azote. Le programme de température utilisé est le suivant : montée de la température ambiante jusqu'à 1500°C avec une vitesse de chauffe de 20°C/min.

L'échantillon à analyser a été broyé à 80µm. Celui-ci est introduit dans un creuset en alumine, qui est lui-même positionné dans le four sur une canne avec 2 thermocouples. Le deuxième creuset, celui de référence, est également en alumine mais vide.

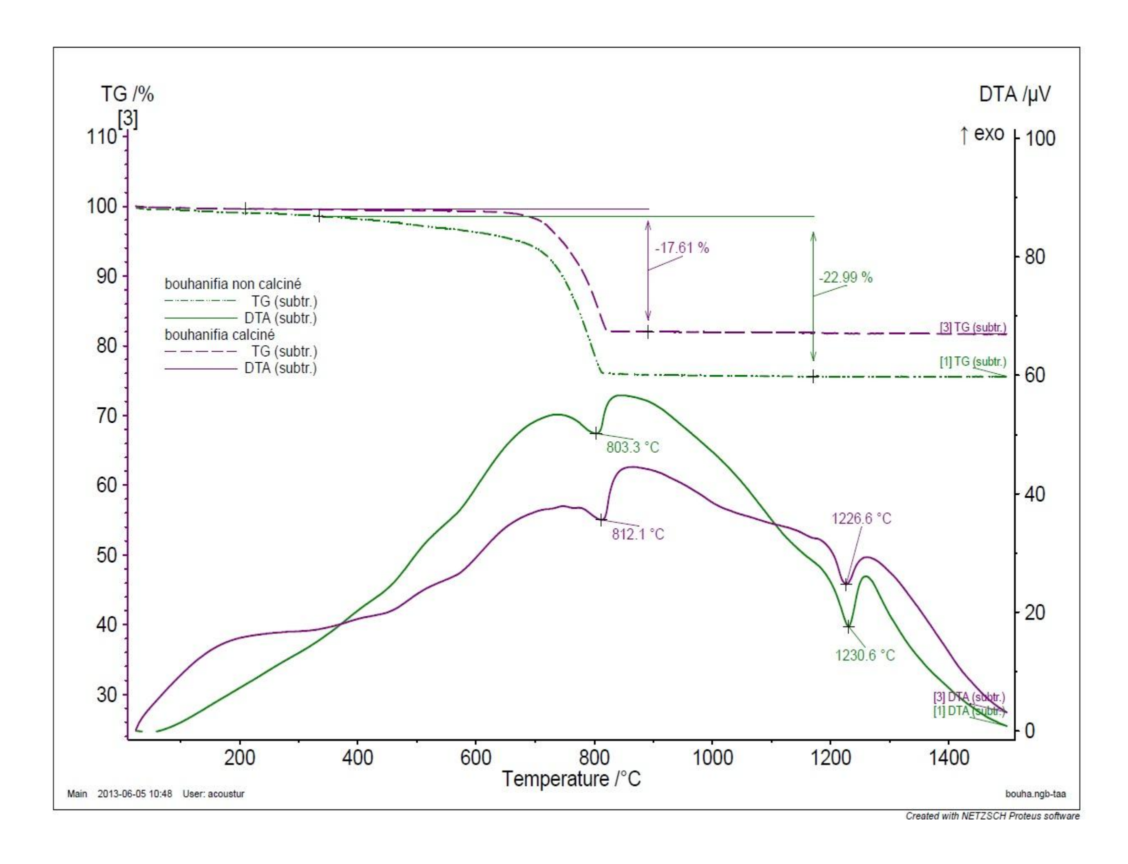


Fig.4-2 Analyse thermique ATD/ATG

La courbe d'analyse thermogravimétrique présente une seule perte de masse, de l'ordre de 23%. Cette perte de masse débute vers 500°C et est terminée à 850°C, elle est relative à un départ d'eau liée dans le matériau. La courbe d'analyse thermique différentielle présente 2 pics endothermiques,

Le premier, vers 800-810°C, associé à la perte de masse en ATG, correspondant à la formation de Méta kaolinite ($2SiO_2$ Al_2O_3) ou de Silimanite (Al_2O_3 SiO_2) et/ou à la décomposition des calcaires.

Le second, vers 1225-1230°C, sans perte de masse, correspondant à un changement de phase ou une transformation dans le matériau. Dans notre cas il s'agit de la transformation de la Silimanite en Mullite ($3Al_2O_3$ $2SiO_2$)

La calcination de la boue a été optimisée à une température de 750°C pour une durée de 5 heures [Semcha, 06], une autre étude similaire [Benzerzour et al, 17], le choix de la température d'activation était de 850°C pour une durée d'une heure.

IV.4.2 Analyse par Diffraction des Rayons X DRX

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) a été utilisée pour justifier l'activation Pouzzolanique du matériau. Le matériau utilisé était la vase du barrage, broyée, tamisée à 80µm et calcinée à deux températures différentes 650°C et 900°C.

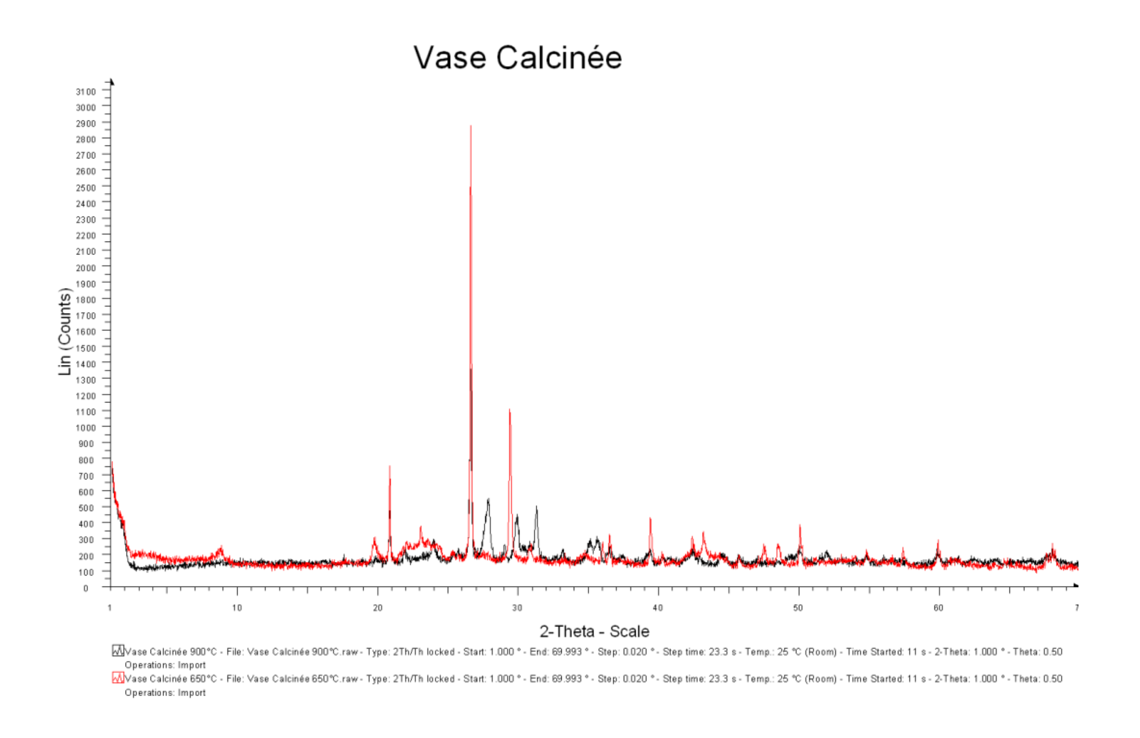


Fig.4-3 Analyse par diffraction des rayons X

(DRX de vase calcinée à 650°C et 900°C)

On remarque l'apparition d'autres éléments avec des intensités importantes. A une température de 650°C aucun élément d'une intensité considérable n'apparait. A 900°C présence active du quartz, calcite, kaolinite, dolomite et de l'illite. Cela confirme les résultats de l'ATD/ATG que la température >800°C est une température d'activation pouzzolanique.

IV.4.3 Traitement Thermique de la Vase

En premier temps on exerce un traitement thermique (calcination de 800°C) pour la vase du barrage afin d'analyser et discuter les différents changements que peut subir ce matériau.

IV.4.3 .1 Analyse chimique de la vase calcinée

Oxydes	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**K_2O+Na_2O**	**TiO_2**	**PAF**
%	54.84	11.52	4.49	14.12	2.96	1.67	1.92	0.63	5.88

Tableau4-2 Analyse Chimique de la vase calcinée

La calcination de l'échantillon à 800 ° C conduit à diminuer la quantité de carbone et d'oxygène et à augmenter la quantité de Si02 en particulier.

IV.4.3.2 Surface spécifique

La surface spécifique Blaine SSB a légèrement augmentée en donnant une valeur de 3766 cm^2 /g

IV.4.3.3 Masse Volumique

Pareil pour la valeur de la masse volumique a aussi légèrement augmentée avec une valeur de 2.75 g/cm^3.

IV.4.3.4 Granulométrie

La granulométrie laser permet de déterminer la répartition granulaire des particules de diamètre inferieur à 80 µm. La fraction fine qui a été utilisée dans la fabrication de la brique a montré sa grande présence dans l'analyse granulométrique à Laser après traitement.

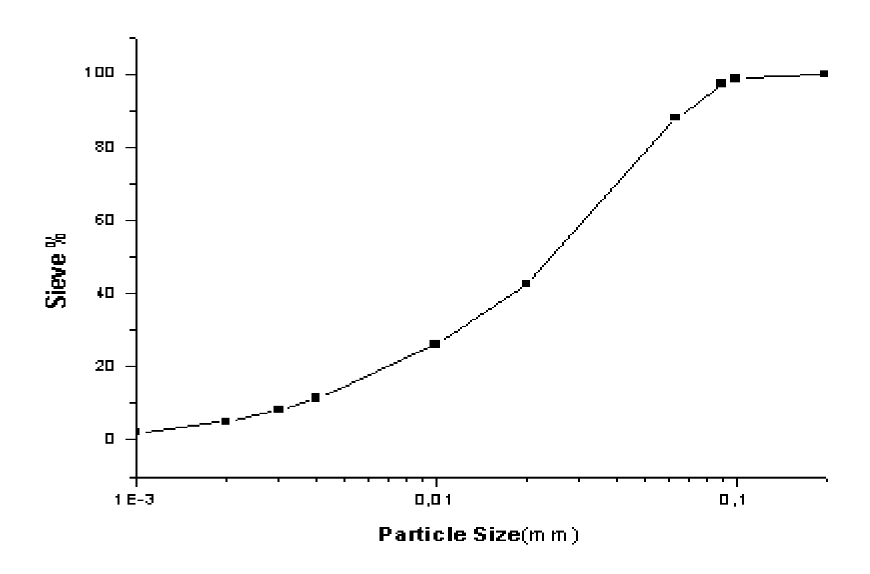


Fig.4-4 Courbe granulométrique pour la vase calcinée

IV.4.3.5 Microscopie électronique à balayage et analyses chimiques (MEB/EDX)

Eléments présents : C, O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca voir la figure 4-5

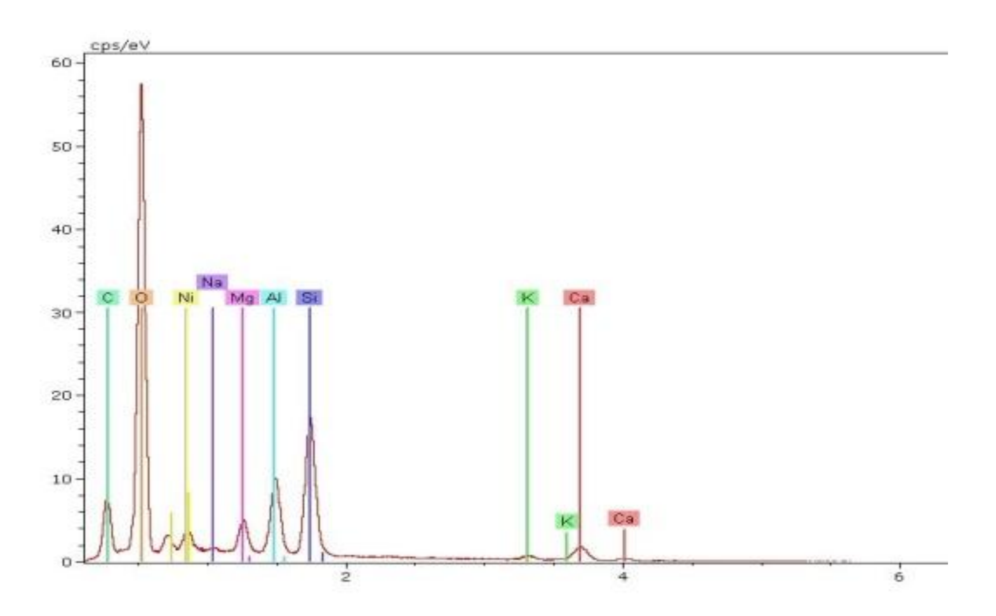


Fig.4-5 Spectre de dispersion d'énergie de la vase calcinée

La figure 4-5 donne l'intensité des différents éléments en fonction de l'énergie dispersée. Voire la silice, l'alumine et l'oxygène avec des pics importants. L'apparition du Nickel est justifiée par son utilisation sur les pastilles d'échantillon

Analysé.

	% massique	
Elément	non calcinée	Calcinée
Ca	0,76	2,19
K	0,22	0,46
Si	6,08	9,64
Al	3,40	4,78
Mg	1,65	2,29
Ni	0,01	0,06
O	64,45	63,68
C	18,46	12,70
Na	0,84	0,87
Total	95,86	96,68

Tableau 4-3. Analyse semi-quantitative de la vase du barrage

Remarque *: le Ni provient de la métallisation de l'échantillon ⇒ ne pas en tenir compte*

L'analyse semi quantitative donne le pourcentage massique de chaque élément présent. La calcination permet la destruction de quelques éléments tels que la matière organique (diminution de pourcentage de carbone et d'oxygène), et la formation de nouvelles structures (pourcentage massique des autres éléments élevé). Dans les figures 4-6 et 4-7, on voit clairement la différence entre la vase brute et celle calcinée.

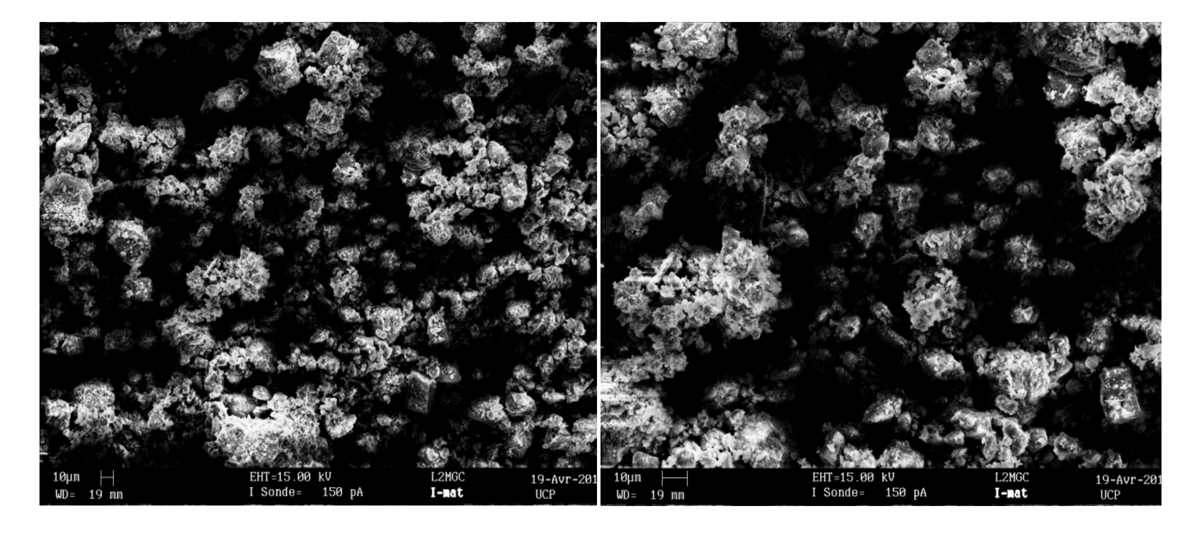
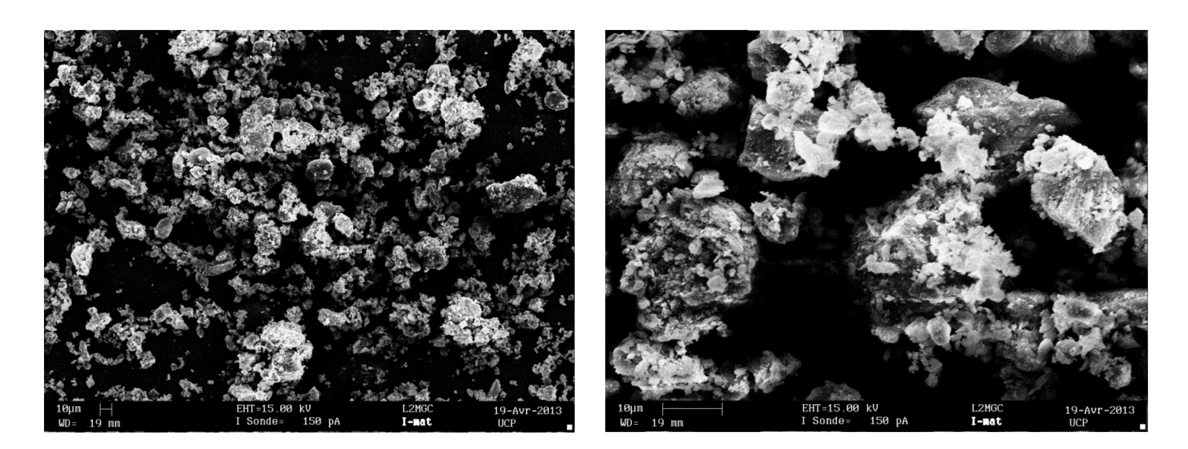


Fig.4-6 Images Topographiques MEB de la vase brute du barrage



Vase calcinée

Fig.4-7 Images topographiques MEB de la vase calcinée du barrage

L'agglomération des grains est due au frittage thermique. En effet le frittage (le passage d'un matériau pulvérulent a un matériau cohérent sous l'action de la chaleur) conduit a la formation des ponts entre grains (la soudure de deux grains) par la différence de l'énergie libre entre le secteur du pont et la surface de la particule [Kingery et al, 55 ; Samara, 12].

On note qu'à 1300°C notre produit atteint son point de fusion (Vitrification)



Fig.4-8 Vitrification de la vase à 1300°C

IV.4.4 Discussion

Selon la définition de l'argile et les seuils recommandés pour les différents oxydes. On note que la vase répond aux seuils recommandés pour la fabrication de la brique rouge.

La calcination de la vase à 800°C a permis d'établir un nouvel arrangement atomique avec coalescence à partir de petits cristaux liés. Un tel aspect physique correspond au comportement pouzzolanique avec un pouvoir de cohésion élevée, très utile pour les matériaux de construction.

L'analyse thermogravimétrique a révélé une perte de masse importante à partir de 500°C et qui se stabilise à 850°C avec la formation de deux pics exothermiques et un endothermique.

L'optimisation de la température de cuisson déduite des analyses thermiques ATD/ATG et de diffraction des rayons X (DRX) que la température la mieux adaptée est >800°C, soit une température de 850°C est la mieux optée.

IV.5 Procédé de fabrication de la brique

IV.5.1 Procédé de fabrication de la brique crue

Procédé de confection de briques comprimées (vase de Bouhanifia crue) : Nous nous sommes intéressés à la confection de briques simplement comprimées (type BTC), à la base de vase et d'eau, stabilisées à la chaux.
Avant de passer à la cuisson des échantillons dans un moule inspiré d'un moule (4*4*16) cm^3 fabriqué avec un système improvisé (hausse) qui permet d'exercer une pression contrôlée sur l'échantillon. Ce procédé nous a permis la confection des échantillons comprimés et faire plusieurs essais de caractérisation mécanique.



Fig.4-9 Brique Crue Comprimée (10% d'eau)



Fig.4-10 Brique Crue Comprimée (10% d'eau+ 4% CaO)



Fig.4-11 Brique Crue Comprimée (7% d'eau)



Fig.4-12 Brique Crue Comprimée (7% d'eau + 4% CaO)

IV.5.2 Procédé de fabrication de la brique Hydro Thermal (Brique auto clavée)

Introduction au traitement de la vase:

Le composite à base de quartz [Benothmane, 86 ; Semcha, 06) : Les produits silico-calcaires sont obtenus à partir d'un mélange homogène de matériaux à forte teneur en silice et de produits contenant de la chaux. Après passage sous presse à environ 10 MPa, ils sont soumis à un traitement hydrothermal. Les proportions des mélanges de silice de chaux et d'eau, sont déterminées par essais préliminaires, en fonction des produits utilisés.

Dans l'autoclave, sous l'action de la température et de l'humidité, une réaction chimique entre la chaux $Ca(OH)_2$ et la silice SiO_2 se produit pour donner des silicates de calcium hydratés (CSH) qui sont à l'origine des résistances mécaniques observées.

Après essais préliminaires, les produits durcis sont obtenus suivant le mode opératoire ci-après :

Ingrédients :

- Sable Siliceux sans matière organique et de granulométrie étalée entre 20 micromètres et 2 millimètres.
- Chaux vive broyée : entre 5% et 8% du poids total.
- Eau : 7 à 8 % du poids total.

Mode opératoire :

- L'ensemble sable-chaux-eau est bien mélangé et homogénéisé.
- Le produit obtenu est passé sous presse pour un compactage sous une contrainte de 10 MPa.
- Les éléments ainsi obtenus sont traités en autoclave sous une pression ne dépassant pas 1,0 MPa et une température de 175 °C. Ce traitement hydrothermal est maintenu pendant une journée (au minimum 8 heures).

Pendant le séjour en autoclave, sous l'action de la température et de l'humidité, la chaux ($Ca(OH)_2$) et la silice (SiO_2) réagissent en produisant de l'acide silicilique

(H_4SiO_4) amorphe qui, en présence de l'hydroxyde de calcium, donne des silicates de calcium hydraté (CHS). Le CHS ainsi formé permet la liaison des grains de sable pour donner un ensemble solide et compact. La résistance des produits silico-calcaires ainsi obtenus, continue à augmenter après étuvage, par réaction de la chaux en excès avec le CO_2 de l'air [Dron, 78]

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

Le composite à base de vase :

Un procédé de conception d'un composite à partir des vases peut être inspiré de celui décrit pour le composite à base de quartz [Benamara, 90].

L'activateur chimique utilisé peut être aussi bien le ciment que la chaux. Les étapes essentielles de la production du composite sont les suivantes :

- Broyage et nettoyage de la vase crue : les échantillons de vase stockés à l'état sec sont broyés et nettoyés de tout résidu de gravier ou de matière organique (végétaux) emprisonné dans les mottes.
- Dosage des mélanges : le dosage d'eau était de 7 à 10% du poids total
- Malaxage à sec et humide : cette étape est particulièrement à prendre avec grand intérêt. En effet, c'est de la répartition de la quantité d'eau, et celle de l'activateur utilisé que vont dépendre les réactions qui donneront les CSH.
- Moulage et pressage : les éprouvettes 4x4x16 sont confectionnées sur table vibrante dans un but d'arrangement homogène des grains, puis elles sont mises sous presse jusqu'à volume constant dans leurs moules.

  La presse utilisée doit permettre la lecture des variations de la hauteur de l'éprouvette pressée.

  Autoclavage : Les conditions hydrothermales dans l'autoclave sont obtenues grâce à de l'eau distillée surchauffée à plus de 100°C créant un milieu humide sous pression. L'appareil utilisé permet la variation de la température et la pression intérieures (Fig.4-13). Les conditions recherchées sont proches de celles utilisées dans la confection des briques Silico-Calcaires.



Fig.4-13 Auto clave utilisé au laboratoire ENPO

Après séjour en bain hydrothermal à une température de 135 °C et une pression de 330 kPa, on a obtenu les éprouvettes suivantes :



Fig.4-14 Brique pressée et auto clavée sans activateur (7% d'eau)



Fig.4-15 Brique pressée et auto clavée sans activateur (10% d'eau)



Fig.4-16 Brique pressée et auto clavée avec activateur
(7% d'eau et 4% de la chaux)



Fig.4-17 Brique pressée et auto clavée avec activateur
(10% d'eau et 4% de la chaux)

IV.5.3 Resistance mécanique

Les résultats de la résistance mécanique sont dans le tableau suivant

	Brique Comprimée				Brique Auto Clavée (Hydro thermal)			
	Sans activateur		Avec activateur		Sans activateur		Avec activateur	
Resistance Mécanique (Mpa)	7% eau	10% eau	7% eau	10% eau	7 %eau	10% eau	7% eau	10% eau
	10.45	11.54	10.58	12.4	8.74	6.83	7.20	5.35

Tableau 4-4. Resistance mécanique de différentes briques confectionnées

IV.5.4 Discussion

Selon les figures(9-10-11-14-15-16-17) données on tire les remarques suivantes

Aucune fissure n'apparait sur les briques comprimées,

La brique confectionnée avec 10% d'eau est plus comprimée que celle de 7%,

L'apparition des fissures sur la brique auto clavée est justifiée par la pression exercée de la chaleur d'eau,

La brique auto clavée avec 10% d'eau est plus fissurée et détériorée que celle de 7%,

L'apparition des grains de couleur blanche sur les briques confectionnées avec l'activateur de 4 % de chaux est justifiée par le faite que la réaction de la portlandite avec la silice n'est pas terminée pour donner le CSH résistant.

Les résultats de la résistance mécanique justifient les remarques tirées.

Les résultats des résistances mécaniques sont un peu moins que celles données par (Semcha, 06), on peut le justifier peut être par le pourcentage choisi pour l'activateur ou par la nature de l'activateur qui est la chaux au lieu du ciment. Ceci reste à justifier dans d'autres travaux.

IV.5.5 Procédé de fabrication de la brique cuite

Le processus de production de la terre cuite se compose de différentes étapes :

1- L'extraction des matières premières (argiles)

2- La préparation de l'argile et l'humidification

3- Le façonnage

4-Le séchage

5- La Cuisson

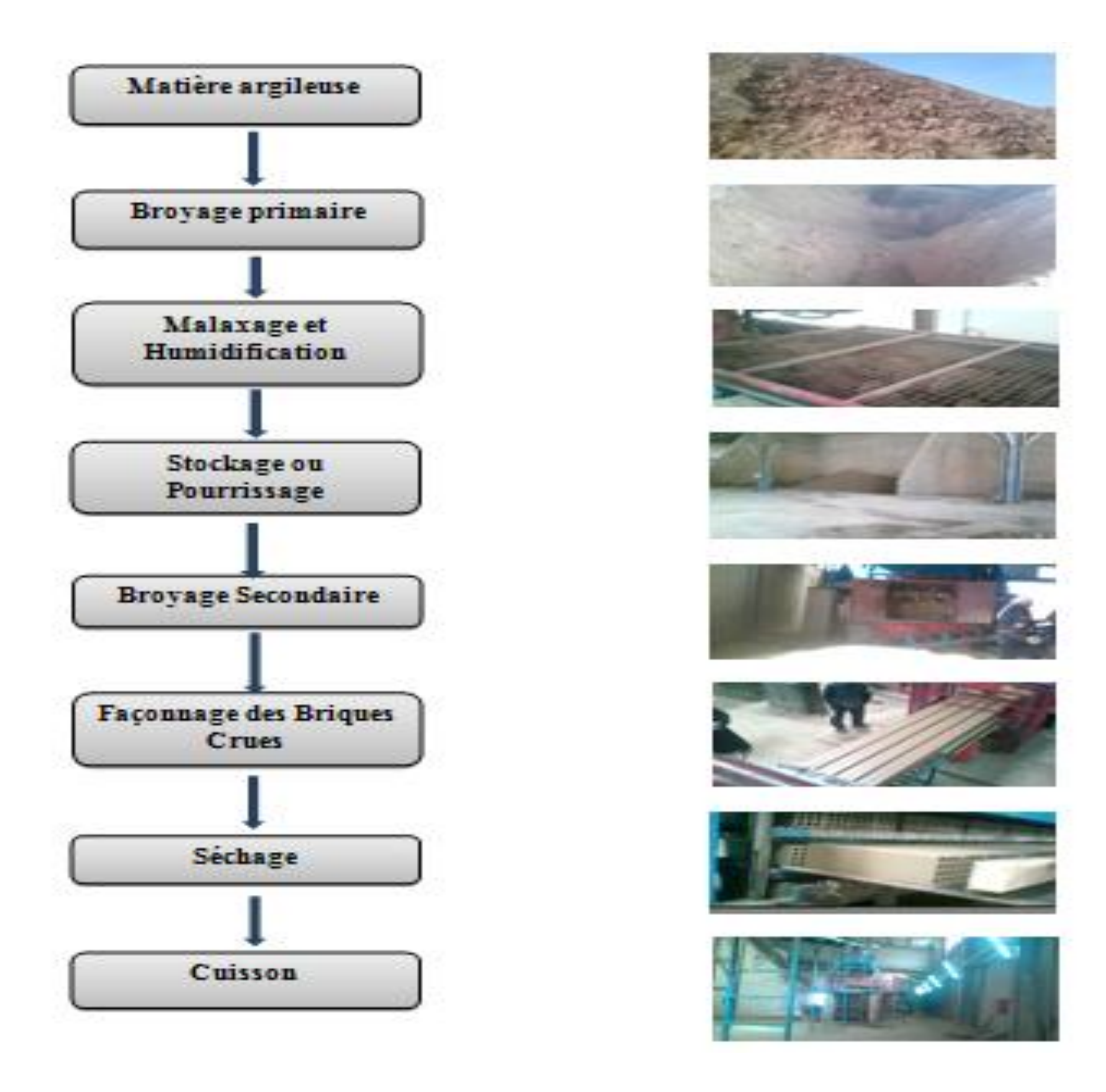


Fig.4-18 Processus de Fabrication de la Brique Rouge (Briqueterie de Zemmoura- Relizane)

IV.5.5.1 L'extraction des matières premières (argiles)

L'argile est extraite dans des gisements testés à être utilisés pour les briqueteries. L'argile est omniprésente dans le sous-sol et ses propriétés diffèrent en fonction de l'origine géologique.

IV.5.5.2 La préparation d'argile

Les argiles plastiques sont rarement utilisées en état pur pour la fabrication des briques à cause des grands retraits subit lors du séchage et de la cuisson. L'utilité d'utiliser un dégraissant est indispensable, généralement l'utilisation d'un sable de 0.15 à 1.5 mm est plus convenable.

IV.5.5.3Le Façonnage

Cette phase doit contenir (Étirage- pressage- moulage)

Le façonnage donne a la pate une cohésion suffisante, grâce a l'élimination de l'air occlus dans l'argile et a l'amélioration de l'état plastique de la pate.

Il permet d'obtenir un produit de forme définitive.

IV.5.5.4 Le Séchage

Il est recommandé de faire un séchage long afin d'éviter la fissuration du produit.

IV.5.5.5 La Cuisson

La cuisson doit garantir une résistance mécanique et chimique satisfaisante pour le produit à réaliser.

IV.5.6 Confection et Optimisation de la Température de Cuisson

Lors des essais on a utilisé un four à Moufle (voir Fig.4-19)



Fig.4-19 Four à Moufle

Apres avoir broyé, tamisé à 80 µm et séché le matériau à 105°C pendant 24 heures, des essais préliminaires ont permis de confectionner une brique destinée à la construction. Des échantillons de boue ont été mélangés avec de l'eau jusqu'à avoir un état plastique. Réalisés dans une boite cylindrique destinée à l'essai de cisaillement, avec 50mm de diamètre et 20mm de haut. Les échantillons ont été passés dans leurs boites et extraits pour le traitement thermique. Les températures de cuisson étaient les suivantes : 900°C- 950°C -1000°C- et 1050°C.

Ce traitement a été réalisé dans deux étapes principales, la première était de la température ambiante à la température de cuisson, puis maintenue constante pendant trois heures. La seconde était conçue pour le programme de refroidissement afin d'éviter le choc thermique.



Fig.4-20 Température de cuisson de la Vase du Barrage de Bouhanifia à (900 ° C, 950 ° C, 1000 ° C et 1050 ° C)

IV.5.6.1 Essai absorption d'eau (ASTM C 67-03a)

En premier temps le test d'absorption a été réalisé après avoir enregistré le poids initial des briques cuites à des températures de 900 ° C, 950 ° C, 1000 ° C et 1050 ° C, les échantillons ont été immergés dans de l'eau déminéralisée pendant 24 heures.

L'absorption d'eau est ensuite calculée par l'équation :

$$Absorption_{Eau\ stagnante}(\%) = \frac{(B - A)}{(A)} * 100$$

A : masse initiale de la brique cuite

B : masse de la brique cuite après immersion dans l'eau pendant 24 heures

Dans un deuxième temps, l'essai d'absorption a été vérifié après avoir subit les échantillons cuits à des températures 900°C, 950°C, 1000°C et 1050°C au test de gel – dégel. Voir les figures 4-21 et 4-22

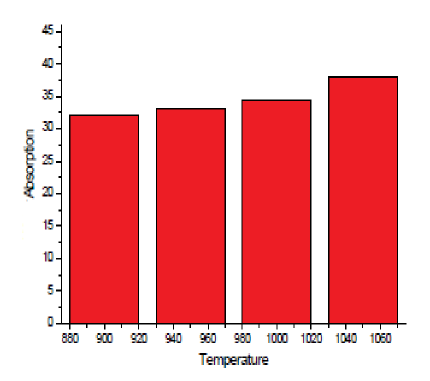


Fig.4-21 Absorption à l'Eau après cuisson

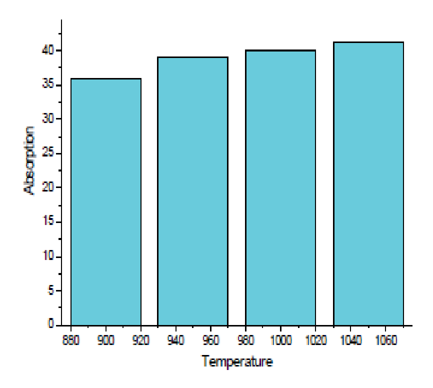


Fig.4-22 Absorption à l'eau après gel dégel

Nous remarquons que l'absorption d'eau augmente avec l'augmentation de la température de cuisson dans les deux figures.

Le test de durabilité gel – dégel consiste à soumettre les produits à 25 cycles de gel-dégel (-15 ° C à + 15 ° C). La durabilité et la résistance de nos échantillons sont vérifiées après avoir été testés gel-dégel (une légère perte de masse).

Suite on immerge les échantillons qui ont subit le test gel – dégel dans l'eau pendant 24 heures. On relève deux remarques importantes :

L'absorption d'eau en fonction de la température (une basse température donne une basse absorption à l'eau).

Une augmentation dans l'absorption à l'eau dans les différents échantillons cuit. Le gel –dégel provoque une légère augmentation de l'absorption d'eau.

La porosité est alors directement liée à la quantité d'eau absorbée.
Nous en déduisons que la porosité augmente avec l'augmentation de la température de cuisson.
De plus, la porosité a une influence importante sur la résistance mécanique et la perméabilité [Benallal.L et al, 11]; on peut déduire cette résistance mécanique va diminuer. Pour ces raisons, nous avons pensé que les tests à basse température sont peut être optionnel vers 900 ° C, une valeur proche de la température 850°C justifiée et optimisée avec l'analyse thermique ATD/ATG.

IV.5.7 Confection de la brique et optimisation de la quantité d'eau

Le deuxième paramètre dont on doit tenir compte dans la composition de brique est le dosage d'eau. En utilisant le même procédé de confection avec une optimisation du pourcentage d'eau 10%, 15% et 20% et une température de cuisson 850°C. Voir Figure 4-23



Fig.4-23 Echantillons de Brique Cuite

IV.5.7.1 Essai absorption d'eau

La Figure 4-24 présente le test de l'absorption à l'eau.



Fig.4-24 Essai d'absorption à l'eau

Les résultats de l'essai d'absorption à l'eau sont illustrés dans le tableau 4-5

L'eau utilisée pour la confection de la brique %	**Absorption à l'eau %**
10	39
15	34
20	***29***

Tableau 4-5. Résultats d'absorption à l'eau des briques confectionnées

D'après les résultats d'essai d'absorption, la brique confectionnée avec 20% d'eau, donne un résultat satisfaisant. Sachant que l'absorption à l'eau est un paramètre de durabilité et de résistance. Plus le pourcentage d'absorption est bas, plus on a une moindre porosité et une grande résistance et durabilité.

IV.5.8 Conception d'une brique

Après la fabrication de briques cylindriques, les essais ont été effectués sur des moules prismatiques (4x4x16) cm^3, secouée sur une table à secousses, pressée avec une presse hydraulique et cuite à une température optimisée de 850 °C. Voir Fig.4-25



Fig.4-25 Briques prismatiques cuites à 850 ° C

Le résultat de la résistance à la compression est de 21 Mpa. Les valeurs obtenues de la résistance à la compression sont acceptables parce qu'ils sont supérieurs à la limite tolérée par les normes en vigueur qui est de 100 bars [Remini, 06]

IV.6 CONCLUSION

L'analyse thermique de DTA / TGA confirme l'état métastable (amorphe) et l'état cristallin à partir duquel la température de cuisson est déterminée. L'analyse thermique a révélé qu'à une température > 800 ° C, apparait une phase amorphe donnant lieu à une activation pouzzolanique pour ce matériau.

L'analyse minérale DRX et l'analyse thermique confirment ce choix de température. Les températures de cuisson sélectionnées sont comme suit 900°C, 950°C, 1000°C et 1050°C. Par contre, aucune fissure n’est apparue sur les divers produits testés.

L’essai d’absorption à l’eau révèle que la porosité augmente en avec la température.

Par conséquent nous concluons que la température de cuisson entre 800°C et 900°C est satisfaisante pour l’utilisation de la vase du barrage de Bouhanifia dans la fabrication de la brique rouge.

La matière de base conçue pour la fabrication de la brique cuite étant l’argile avec une composition chimique qui répond aux seuils recommandées pour les différents oxydes. La silice et l’alumine représentent les éléments essentiels de la composition chimique donnant une résistance et une durabilité satisfaisante.

Dans le chapitre 6 nous abordons une étude qui donne des pourcentages d’oxydes appréciables pour une argile.

Puisque l’absorption d’eau, la porosité et la masse volumique sont des paramètres

Importants pour la formulation d’une brique cuite [Samara, 12], nos résultats obtenus sur ces paramètres sont encourageantes.

Chapitre5

Utilisation de la Vase Marine

V.1 Introduction

Les sédiments de dragage du port d'Oran sont re-largués en mer pour des raisons économiques et par manque d'aires de stockage. Notre étude s'inscrit dans une nouvelle approche qui consiste à caractériser les sédiments et à les traiter chimiquement et thermiquement dans la perspective de leur donner une valeur ajoutée. Les sédiments une fois traités passeront de déchets difficiles à gérer à une matière première secondaire à valoriser dans les mortiers et les bétons.

V.2 Protocole expérimental de traitement et de valorisation

Un autre protocole d'étude a été utilisé pour les sédiments marins. Après l'analyse vis-à-vis de sa contamination, un traitement a été proposé. Selon la bibliographie pour ce genre de matériau, un traitement chimique puis thermique est proposé. Le but de cette étude est d'atteindre sa faisabilité technique et économique.

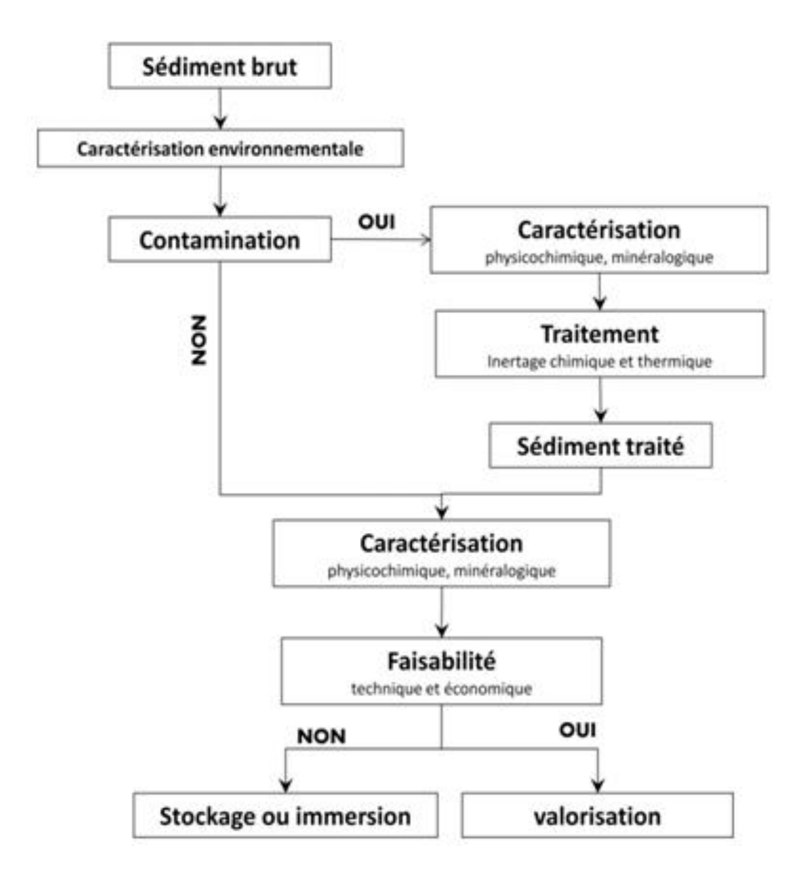


Fig.5-1 Protocole d'étude (vase marine)

V.2.1 Le traitement

Le procédé de traitement illustré par la figure 5-2 combine le traitement chimique par phosphatation en piégeant les métaux lourds (inertage) et le traitement thermique (calcination). Il est adapté aussi bien aux sédiments marins ou fluviaux qu'aux cendres volantes, aux boues contaminées, aux sols pollués ou encore aux résidus de broyage automobile, [Scordia, 08].

Nos sédiments bruts obtenus après homogénéisation ont été traités chimiquement et thermiquement.

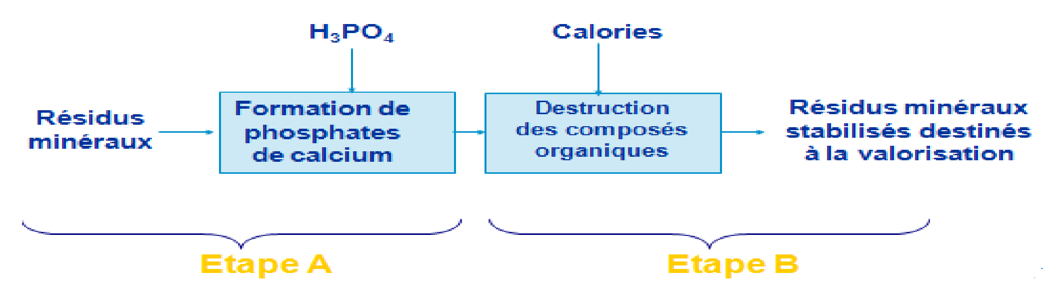


Fig.5-2 Inertage chimique et thermique (Procédé NOVOSOL)

Etape A :

Stabilisation des métaux lourds par piégeage dans des phosphates de calcium

[$Ca_3(PO_4)_2{}^*H_2O$] formés par ajout de H_3PO_4.

Etape B : Destruction des composés organiques par calcination à 750°C

V.2.1.1 Le traitement chimique

Les sédiments sont lavés afin d'éliminer les chlorures car les sels contenus dans les sédiments marins ne sont ni fixés ni éliminés par le procédé [Agostini, 05]. Ils ont été ensuite séchés à l'air et en étuve à 40°C. Puis ils ont été traités chimiquement par phosphatation (ajout de 3% en masse d'acide phosphorique). La détermination du pourcentage d'acide phosphorique est réalisée en laboratoire sur différents échantillons. Enfin ils ont subi une maturation et un séchage pendant trois (03) jours.

V.2.1.2 Le traitement thermique

Les sédiments sont ensuite broyés et tamisés (tamis 80µm) par voie sèche. La calcination a été effectuée par petites quantités, en fonction de la capacité du four disponible. La calcination a été réalisée à une température de 750°C, [Kribi, 05] cette

température a été maintenue constante pendant 1heure, [Agostini, 06]. Les sédiments phosphatés et calcinés sont conservés à l'abri de l'air et de l'humidité.

Dans la Fig.5-3 on distingue deux phases : la première après phosphatation, maturation et séchage. La deuxième phase après traitement thermique.





Fig.5-3 Sédiments Marins Traités

V.2.1.3 Mesure de la masse volumique et la surface spécifique

L'une des principales caractéristiques physiques mesurées sur addition cimentaire est la surface spécifique. La mesure a été faite par méthode Blaine, afin de déterminer la finesse du matériau qui sert à prévoir l'effet de cette addition sur les propriétés des matériaux cimentaires à l'état frais. Suivant la norme EN 196-6 et suivant la formule suivante : $S.S.B=397.75\sqrt{temps}$

La valeur de la surface spécifique du sédiment brut est très réduite par rapport à celle traité, lors de l'ajout d'acide phosphorique la réaction avec les carbonates contenus dans le sédiment conduit à un dégagement gazeux CO_2, ce qui mène même à la formation des bulles et l'aspect mousseux voir figure 5-4 . Le départ de ces bulles de gaz conduit après séchage à une augmentation de surface spécifique [Kribi, 05]. Cette augmentation est due à la dégradation de la matière organique.



Fig.5-4 L'aspect mousseux pour les sédiments

La masse volumique est un paramètre important pour la formulation d'un matériau cimentaire [Agostini, 06]. La valeur trouvée pour le sédiment traité chimiquement et thermiquement est ρ_s=2.77g/cm^3 soit la masse volumique approximative de minéraux tels que le Quartz (2.62g/cm^3) ou la Calcite (2.7g/cm^3) selon [Agostini, 06].

	Sédiment marin brut	Sédiment marin traité
Masse Volumique g/cm^3	2.3	2.77
Surface Spécifique cm^2/g	2515	4228

Tableau 5-1. Masse volumique absolue et surface spécifique

Pour être valorisés les sédiments doivent présenter un indice d'activité répondant aux normes des additions minérales. Pour satisfaire la norme NF EN450, les cendres volantes doivent présenter un indice d'activité normalisé supérieur ou égal à 0,75 à 28 jours et 0,85 à 90 jours. L'indice d'activité noté I est calculé en faisant le rapport entre les résistances à la compression à 28 jours du mortier de référence sans sédiments (T) et celle du mortier contenant 25% de sédiments traités (25% ST). L'étude de cet indice vise à évaluer l'efficacité des sédiments traités utilisés comme additions minérales.

Les résultats obtenus (I = 0,83 à 28j et I = 0,99 à 90j) permettent alors d'envisager l'utilisation des sédiments traités en substitution du ciment.

Mortiers	Résistance à la compression (MPa)					Indice d'activité	
	3	7	21	28 j	90 j	28jours	90jours
MT*	35.45	43.65	49.68	50.23	52.18	0.83	0.99
MST*25	29.5	36	41.5	41.66	51.8		

Tableau 5-2. Indice d'activité

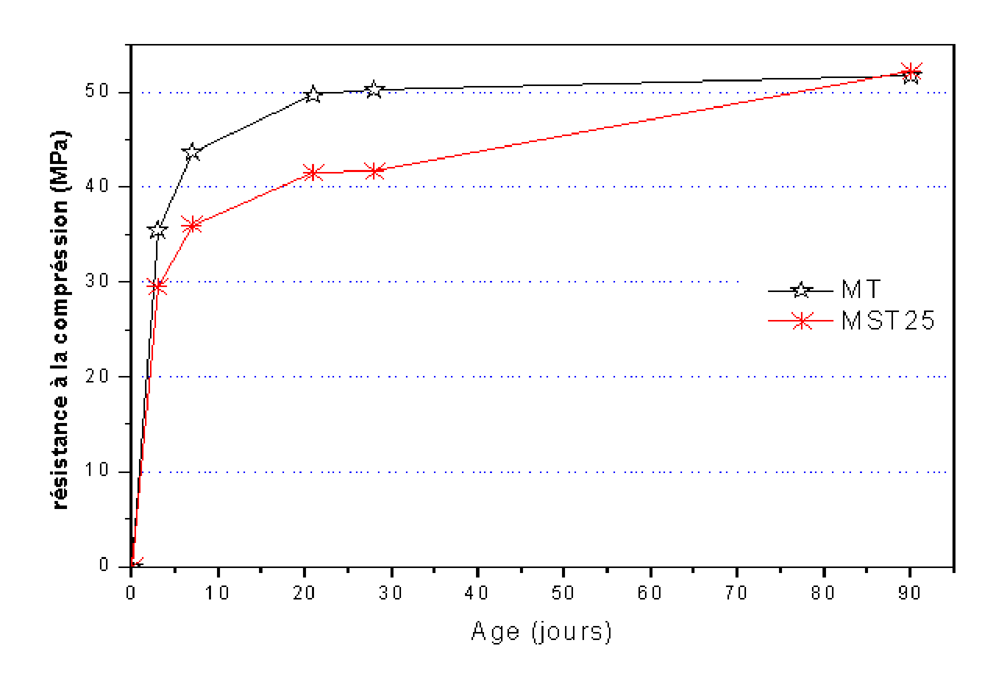


Fig.5-5 Comparaison des évolutions de la résistance en compression du mortier témoin MT et du mortier substitué à 25 % du sédiment traité MST 25

V.2.2 La Valorisation

V.2.2.1 Confection des éprouvettes, condition de conservation et essais

Les éprouvettes de mortiers sont confectionnées selon la norme NF EN 196-1. Pour la caractérisation de la résistance mécanique, nous avons utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16cm^3. Après 24h on opère au démoulage des éprouvettes et leur mise à la cure dans l'eau jusqu'à l'échéance de l'écrasement. Les essais de résistance à la compression sont effectués selon la norme NF P15-451. Les éprouvettes ont été rompues dans un dispositif de flexion à trois points puis les demi

prismes obtenus après rupture en flexion de l'éprouvette, ont été écrasés au moyen d'une presse, à différents âges (7j, 28j, 60j et 90 jours).

Pour cerner la réactivité des sédiments traités, nous avons opté pour la réalisation de quatre mélanges de ciment de calcaire et de sédiments traités et un échantillon de mélange de ciment et de calcaire. Les cinq séries de mortier ainsi obtenues sont désignées respectivement par :

MT (mortier témoin), MST5 (5 % de sédiments traités), MST10 (10 % de sédiments traités), MST15 (15 % de sédiments traités), MST20 (20% de sédiments traités). Les différentes proportions pour les cinq séries sont données au tableau 5-3.

Désignations des mortiers	% Sédiments Traités
MT	0
MST5	5
MST10	10
MST15	15
MST20	20

Tableau 5-3. Désignation des mortiers

V.3 Résultats et discussion

La comparaison des évolutions de la résistance à la compression des cinq séries de mortier est illustrée par la Fig.5-6. Celle-ci montre clairement que toutes les courbes MST restent inférieures à la courbe MT au jeune âge et à long terme d'autant que le taux de substitution de sédiment est élevé.

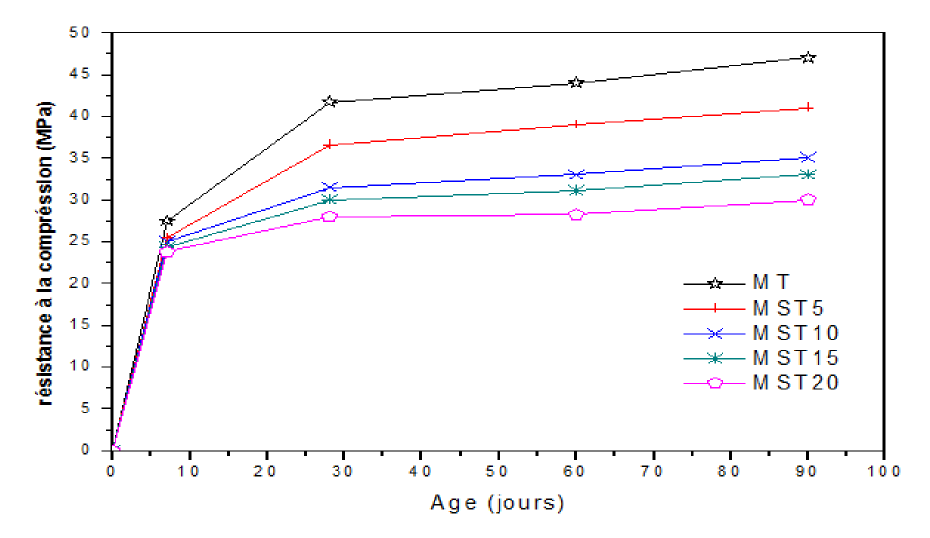


Fig.5-6 Comparaison des évolutions de la résistance en compression des mortiers témoin (MT) et MST5, MST10, MST15, MST20 (mortier avec 5, 10, 15 et 20% de fines de sédiments traités).

Pour mieux saisir le sens de l'évolution de la résistance à la compression des différents mortiers avec les additions minérales, et permettre la comparaison avec le mortier témoin, nous présentons cette évolution sous forme d'histogramme donné par la Fig.5-7

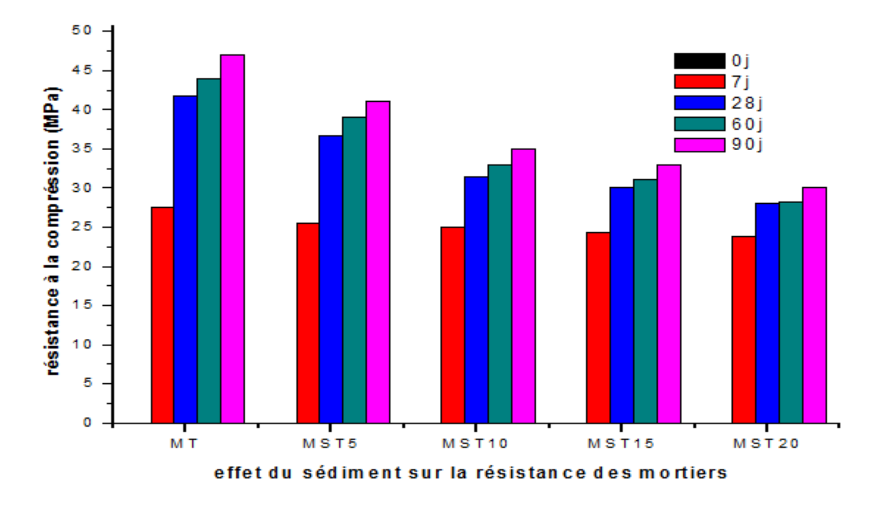


Fig.5-7 Comparaison des évolutions de la résistance en compression des mortiers MT et MST5, MST10, MST15 et MST20

On remarque d'après cette figure que les performances mécaniques se développent pour le mortier témoin mieux que pour les mortiers avec les additions minérales en fonction du temps.

V.4 Conclusion

L'intérêt majeur qui a été à l'origine de cette étude est la possibilité de proposer des solutions alternatives au problème de stockage par relargage en mer des sédiments dragués. L'étude environnementale a montré des teneurs élevées en polluants organiques et inorganiques dans les sédiments dragués. Ceux-ci sont considérés comme des déchets contaminés et donc le traitement a été nécessaire pour leur décontamination.

On peut tirer les points suivants :

- Deux traitements sont retenus : chimiquement par ajout d'acide phosphorique à 3% en masse pour stabiliser les métaux lourds et thermiquement à une température de 750°C pour éliminer les polluants organiques.

L'étude vise à fournir des données sur l'aptitude des sédiments traités à être utilisés comme matériau du Génie Civil et a montré la faisabilité de l'utilisation du sédiment traité comme matière première pour la confection des matériaux à matrice cimentaire.

Chapitre6

Application de la Programmation Génétique
dans La Modélisation
de l'Analyse Chimique des Argiles à Briques

VI.1 Introduction

Notre projet d'étude a ciblé deux sites de dragage (le port d'Oran et le barrage de Bouhanifia).

Des analyses physico- chimique et minéralogique ont été faites sur les deux matériaux prélevés, tout on respectant une méthodologie d'étude qui a mené aux résultats suivants :

La vase du port est fragile et ne réponds pas aux normes conçus pour la fabrication de la brique rouge, par contre l'échantillon prélevé du barrage nous a donné des résultats prometteurs.

Une nouvelle problématique est posée dans le choix du matériau (échantillon) utile pour le procédé de fabrication de la brique rouge. La question qui se pose est : est ce que n'importe quel échantillon prélevé dans la zone de stockage convient à notre procédé de valorisation dans la brique rouge ?

C'est dans ce contexte que cette étude s'inscrit. Dans le cadre de la recherche d'une méthodologie de gestion de sédiments et la matière de base qui est conçue pour la fabrication de brique cuite. On aborde le problème de choix des échantillons de vase issue du dragage de barrages Algériens, en particulier le choix de l'argile qui provient des différents gisements. Nous proposons une approche pour un échantillonnage à l'aide d'un modèle informatique d'optimisation qui permet de résoudre et optimiser les caractérisations à retenir pour le choix de l'échantillon le mieux adapté (chimiquement) en utilisant l'algorithme génétique.

Le Logiciel présent se base sur une approche Génétique implantée sur le Net Beans version RC1 avec un langage de programmation Java.

Logiciel Net- Beans version 8.0 RC1 est un environnement de développement intégré (EDI), conçu en Java. NetBeans est disponible sous Windows, Linux.

Pour le langage de programmation nous avons choisi Java.



Fig.6-1 NetBeans IDE 8.0 RC1

VI.2 Algorithme Génétique : Revue Littérature

Un algorithme génétique (AG) est un méta heuristique qui manipule une population de solutions potentielles à la fois. Le mode de fonctionnement d'un AG est calqué sur les principes biologiques de la sélection naturelle et de la survie des individus les mieux adaptés à l'environnement (théorie de Darwin).

La sélection naturelle est basée sur l'idée que les modifications des générations successives sont orientées par les pressions extérieures aux quelles sont soumises les espaces, exemple : la limitation des ressources, les modifications de l'environnement, les prédateurs et parasites, etc.) .

Il en résulte que les individus les mieux adaptés à l'environnement tendent à survivre plus longtemps et à se reproduire plus fréquemment.

S'inspirant ainsi de ce mécanisme, Holland a posé les bases de la technique d'optimisation appelée « Algorithme génétique ». Mais c'est Goldberg qui, par la suite s'est investi dans l'étude d'AG et a développé la forme actuelle que nous connaissons [Jean, 10].

Le vocabulaire employé par les AG est directement calqué sur celui de la théorie de l'évolution et de la génétique. Ainsi les termes comme : individu, population, gène, chromosome, parent, enfant, reproduction, croisement et mutation sont utilisés. Dans le vocabulaire des AG l'environnement se rapporte à l'espace de recherche qui définit l'ensemble des configurations possibles des paramètres de la fonction à optimiser.

Un individu dans cet environnement est une configuration possible des paramètres .Un ensemble d'individus forme une population. Chaque individu peut être représenté par un chromosome qui est composé d'une chaine de gènes contenant les caractéristiques génétiques de cet individu.

Le gène étant la partie élémentaire d'un chromosome représente un trait de caractère ou une fonction particulière. La capacité d'adaptation d'un individu à l'environnement est matérialisé par la mesure de la performance de l'individu à travers la fonction à optimiser (ou fonction d'adaptation ou fitness) [Jean, 10].

VI.3 Le principe de l'Algorithme génétique

Les algorithmes génétiques ont la particularité de s'inspirer de l'évolution des espèces dans leur cadre naturel. Les espèces s'adaptent à leur cadre de vie qui peut évoluer, les individus de chaque espèce se reproduisent, créant ainsi de nouveaux individus, certains subissent des modifications, certains disparaissent. L'algorithme génétique va reproduire le modèle d'évolution dans le but de trouver des solutions pour un problème donné.

L'algorithme génétique de notre exemple est bâti comme suit :

Une population sera un ensemble d'échantillons de vase draguée ou d'argiles de différents gisements

Un individu sera une solution à un problème donné

Un gène sera une partie d'une solution, donc d'un individu

Une génération est une itération de notre algorithme

La Fig.6.2 illustre le fonctionnement de l'algorithme génétique.

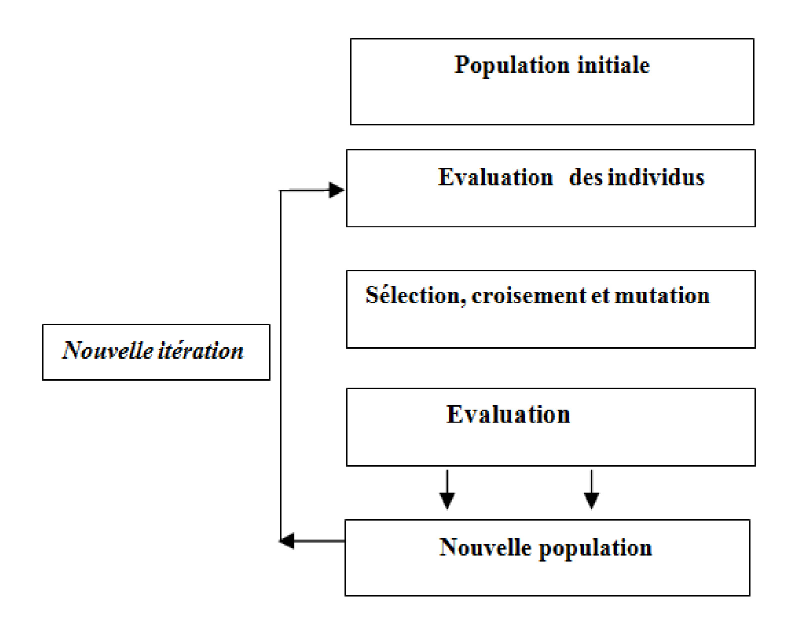


Fig.6-2 Le principe de l'Algorithme génétique

VI.2.1 Paramètres de l'Algorithme Génétique

VI.2.1.1 Fitness

La fitness ou l'aptitude en sens génétique mesure la qualité de l'individu exprimée sous forme d'un nombre ou d'un vecteur. Plus une valeur i est proche de la solution plus elle est la meilleure. Dans notre travail, nous devons proposer deux méthodes pour calculer la condition physique.

Fitness_1 = somme ((val oxydes) x poids), Voir tableau 6-1

Les différentes valeurs des oxydes données dans le tableau 6-1 sont extraites des seuils d'argile recommandés pour la fabrication d'une brique cuite.

Oxydes	Val Min (%)	Val Max (%)	Poids
SiO_2	35	85	0.45
Al_2O_3	9	25	0.2
Fe_2O_3	3	9	0.1
CaO	0	25	0.11
MgO	0	5	0.01
SO_3	0	3	0.002
K_2O+Na_2O	1	5	0.03
TiO_2	0.3	2	0.01
PA F	0	13	0.088

Tableau6-1. Les Seuils recommandés pour une Argile

En ce qui concerne les poids donnés pour chaque oxyde, ce dernier reflète l'importance de chaque valeur d'oxyde dans la caractérisation chimique de l'argile. Les poids sont inspirés par une lecture synthétisée des différentes analyses chimiques testées. La somme des différents poids donnés égale à 1.

$Fitness_2$ = SiO_2 / Al_2O_3. (La silice et l'alumine sont les deux principales composantes constructives de l'argile).

VI.2.1.2 Taux de sélection

Le taux de sélection indique le taux des individus sélectionnés à partir de la population initiale, si le taux de sélection est de 100% alors toute la population est sélectionnée, et si elle est de 0% la nouvelle génération est la copie exacte des individus de l'ancienne population, dans notre exemple on le fixe à 0.8 parce que le taux optimal varie entre 0.8 et 0.9 [Yachba, 16].

VI.2.1.3 Taux de croisement

Le taux de croisement indique le taux de participation à la reproduction, soit la proportion de la population qui se reproduit par croisement. Si le taux de croisement est de 100%, alors toute la population participe au croisement. Par contre, si elle est de 0%, la nouvelle génération au complet est la copie exacte des individus de

l'ancienne population, dans notre exemple on le fixe à 0.7 parce que le taux optimal se varie entre 0.25 et 0.7 [Yachba, 16]
Pour une utilisation efficace d'un matériau pour la construction de brique à base de vase, nous utilisons le modèle d'algorithme génétique qui est des métas heuristiques ; qui a pour but de résoudre un problème d'optimisation comme il peut déterminer les différents pourcentages d'oxydes lors d'une analyse chimique). Notre contribution consiste à proposer un modèle pour l'optimisation.

VI.2.1.4 Taux de mutation

Le taux de mutation indique le taux que chaque gène de chaque individu subissant une mutation lors d'une phase de reproduction. Si le taux de mutation est de 0%, les individus qui sont produits juste après le croisement ne comportent aucun changement. Par contre, si la probabilité de mutation est de 100%, tout le chromosome de l'individu est changé : Dans notre exemple on le fixe à 0.1 parce que le taux varie entre 0.01 et 0.1 pour éviter que l'algorithme converge vers un minimum local [Yachba, 16].

VI.2.1.5 Nombre d'itérations

C'est un nombre qui limite le nombre d'évolutions de la population générée par l'algorithme. La recherche est ainsi arrêtée après un certain nombre de générations :
Dans notre exemple on le fixe à 50 itérations. Parce que le nombre optimal des itérations doit être entre 10 et 500 itérations.

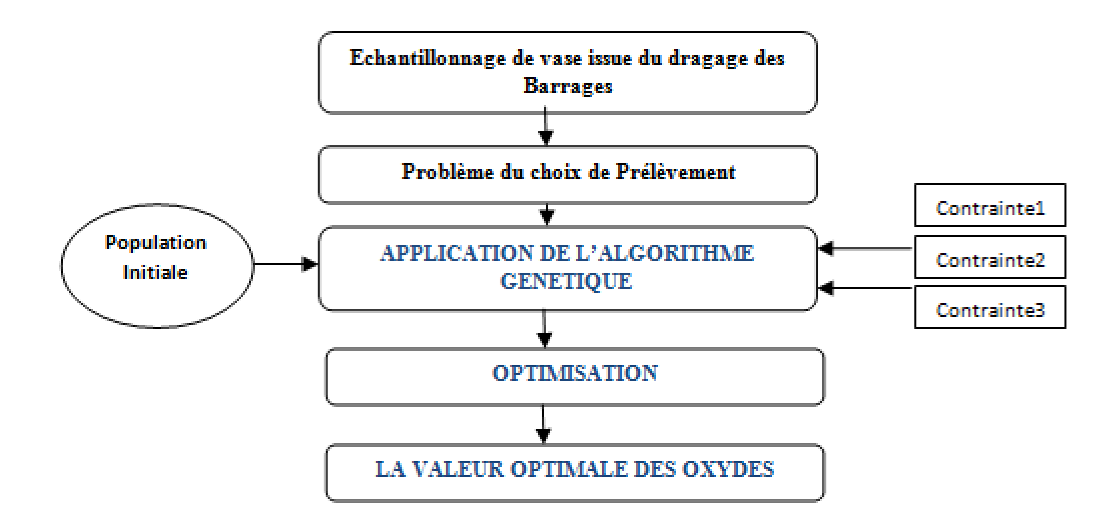


Fig.6-3 Modèle Proposé

- En suivant les étapes de l'algorithme génétique et en optimisant les analyses chimiques des échantillons, trois contraintes sont posées.
- La première est de donner un seuil minimum pour la fitness 2 qui est de 2,7 (la valeur classique des bentonites [Qlihaa, 16 ; Gourouza, 13] et une valeur maximale de 5 qui est une valeur approximative
- La deuxième contrainte est de minimiser la teneur en alumine à 15%
- La troisième contrainte consiste à appliquer la somme totale des oxydes lors de l'analyse chimique à 100% avec un intervalle de tolérance de ± 2%.



Fig.6-4 L'icône du Logiciel utilisé

Dés l'ouverture du logiciel la première face qui apparait (voir Fig.6-5)

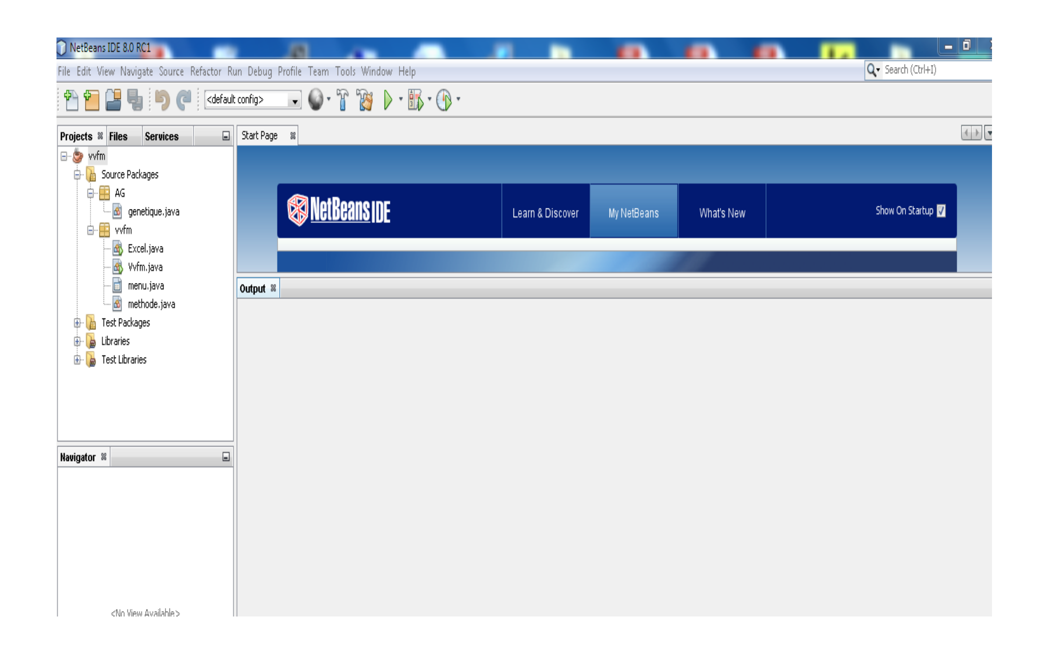


Fig.6-5 L'interface principale du lancement de l'application

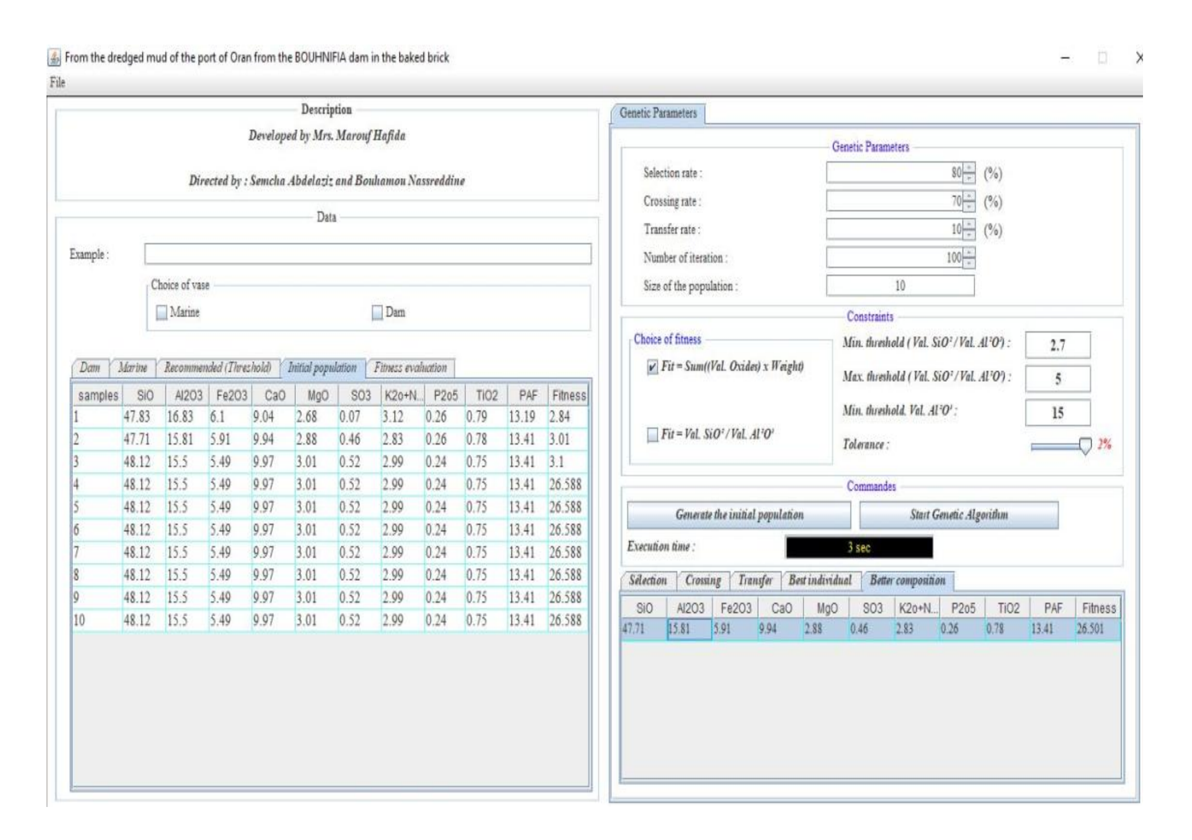


Fig.6-6 Menu principal de traitement

La création de la population initiale se trouve au tableau 6-2

Dans le tableau 6-2 on génère la population initiale en utilisant la première fitness.

$Fitness_1$ = somme ((val oxydes) x poids)

Les oxydes utilisés ont des valeurs minimales et des valeurs maximales à ne pas dépasser. Les poids qu'on a donné, c'est des valeurs inspirées de l'importance de chaque composant. Des valeurs dominantes en particulier dans l'argile utilisée dans les briqueteries algériennes. La somme des poids est égale à 1

Vase du Barrage				**Seuils Recommandés**		**Population Initiale**		**Evaluation de Fitness**	
N°	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_{2O+}N_2O_3$**	**TiO_2**	**L F**
4	45.92	16.271	6.88	17.128	2.983	1.229	2.668	0.4424	7.31
7	47.774	15.127	7.713	9.784	2.874	0.336	2.281	1.255	12.12
14	48.401	16.827	5.147	14.412	3.481	0.678	3.219	0.919	7.847
17	55.895	16.409	8.327	2.411	3.801	1.064	1.665	1.136	10.226
22	50.87	16.383	4.41	9.129	1.84	2.824	3.355	0.833	9.821
26	57.616	15.656	3.018	9.799	0.892	1.273	3.374	1.786	6.858
29	65.907	18.371	6.757	0.116	2.696	1.987	3.914	0.455	0.683
31	52.544	15.62	6.417	14.174	3.862	2.471	1.425	1.661	2.683
33	49.93	15.693	7.232	12.716	3.382	1.414	4.038	1.504	4.996
34	59.518	15.057	6.647	1.399	1.112	2.508	3.051	1.531	10.176
35	56.92	16.046	4.75	4.319	2.790	1.955	1.919	0.826	10.507
40	47.044	16.413	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655

Tableau 6-2. La Génération de la Population Initiale

Premièrement : Dans le tableau 6-3 on note la sélection de la population initiale avec la première Fitness.

Selection		Croisement		Mutation		Meilleur Individu		Meilleure Composition		
N°	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_{2O+}N_2O_3$**	**TiO_2**	**L F**	**Fitness**
32	48.8378	15.889	7.451	16.524	4.547	1.238	1.071	1.467	2.261	0.0
27	55.895	16.409	8.327	2.411	3.801	1.064	1.665	1.136	10.226	0.0
80	49.93	16.3125	7.232	12.716	3.382	1.414	4.038	1.504	4.996	28.465
85	45.92	16.271	6.88	17.128	2.983	1.229	2.668	0.424	7.31	28.792
156	62.786	17.08	6.968	4.304	3.365	1.09	2.614	1.319	0.798	31.563
158	57.995	16.3176	4.61	6.738	3.862	1.586	2.852	1.751	3.621	31.697
22	52.544	15.62	6.417	14.147	3.862	2.471	1.425	1.661	2.683	0.0

Tableau 6-3. La sélection de la population initiale avec la première fitness.

VI. 3 Evaluation des individus

Une fois que la population initiale est crée, nous sortirons les individus les plus promoteurs, ceux qui participent à l'amélioration de notre population.

VI.3.1 Meilleur Individu

Les meilleures personnes sont une collection des meilleures personnes qui ont presque les mêmes pourcentages d'oxydes (voir le tableau 6-4).

Selection		Croisement		Mutation		Meilleur Individu		Meilleure Composition		
N°	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_{2O+}N_2O_3$**	**TiO_2**	**L F**	**Fitness**
39	46.137	16.413	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	26.748
57	46.101	16.848	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	26.819
44	46.279	16.413	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	26.820
34	44.979	16.271	6.88	17.128	2.983	1.229	2.668	0.424	7.31	26.827
20	45.101	16.271	6.88	17.128	2.983	1.229	2.688	0.424	7.31	26.881
94	45.142	16.271	6.88	17.128	2.983	1.229	2.688	0.424	7.31	26.900

Tableau 6-4. Meilleur Individu

VI.3.2 Meilleure Composition

La meilleure composition est la solution optimale de composition chimique

(voir tableau 6-5). Dans ce tableau apparait la composition optimale tirée par la méthode génétique on utilisant la première fitness proposée.

Une composition chimique qui présente une première satisfaction en comparant

aux compositions chimiques souvent fréquentées dans les sédiments.

Croisement		**Mutation**			**Meilleur individu**		**Meilleure Composition**		
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$K_{2O+}N_2O_3$	TiO_2	L F	Fitness
46.137	16.413	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	26.748

Tableau 6-5. Meilleure Composition

VI.3.3 Variation de la Fitness

La variation de la fitness est dans la Fig.6-7

L'évaluation de la fitness en fonction du nombre d'itérations est bien dans l'ensemble puisqu'elle varie timidement.

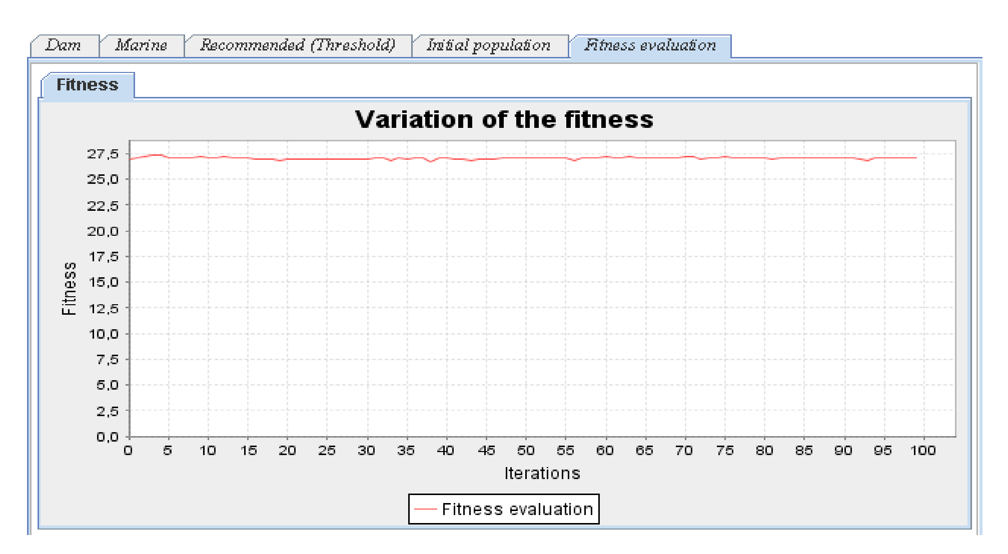


Fig.6-7 Variation de la Fitness1

Deuxièmement : On sélectionne la population initiale avec la deuxième Fitness

Sélection		**Croisement**		**Mutationn**		**Meilleur individu**		**Meilleure Composition**		
N°	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_2O+N_2O_3$**	**TiO_2**	**L F**	**Fitness**
43	59.682	17.701	4.064	9.251	0.889	0.232	2.515	1.337	3.508	0.00
50	51.713	18.356	7.519	3.025	4.826	2.25	1.696	1.432	10.533	2.817
191	61.526	16.589	6.844	3.889	3.461	1.347	1.321	1.795	3.12	3.708
202	58.604	15.437	4.61	6.738	3.862	1.922	2.852	1.751	3.621	3.796
160	53.172	15.062	4.306	16.513	2.729	0.073	1.633	1.007	5.966	3.611
138	60.154	17.12	6.233	1.781	3.022	1.725	2.173	1.542	5.966	3.514
103	52.544	16.032	6.417	14.174	3.862	2.471	1.425	0.427	2.597	3.158

Tableau 6-6. La Sélection de la population initiale en fonction de la deuxième fitness

Sélection		**Croisement**		**Mutation**		**Meilleur individu**		**Meilleure Composition**		
N°	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$K_2O+N_2O_3$	TiO_2	L F	Fitness
145	57.128	21.131	4.079	11.677	1.048	0.766	2.801	0.382	1.151	2.703
115	45.92	16.978	6.88	17.128	2.983	1.229	2.668	0.424	7.31	2.704
177	57.455	21.238	4.079	11.677	1.048	0.766	2.801	0.382	1.151	2.705
100	46.742	17.265	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	2.707
132	47.044	17.356	3.292	14.803	4.96	1.263	3.029	1.766	6.655	2.710
113	57.310	21.131	4.079	11.677	1.048	0.766	2.801	0.382	1.151	2.712

Tableau 6-7. Meilleur individu

Croisement		**Mutation**		**Meilleur individu**		**Meilleure Composition**			
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$K_{2O+}N_2O_3$	TiO_2	L F	Fitness
57.128	21.131	4.079	11.677	1.048	0.766	2.801	0.382	1.151	2.703

Tableau 6-8. Meilleure composition

Dans le tableau 6-8 on tire une meilleure composition avec la deuxième fitness proposée, tout on respectant les contraintes posées dans cette démarche de recherche.

En fonction des itérations proposées la variation de la fitness apparait plus discrète que celle dans la première fitness

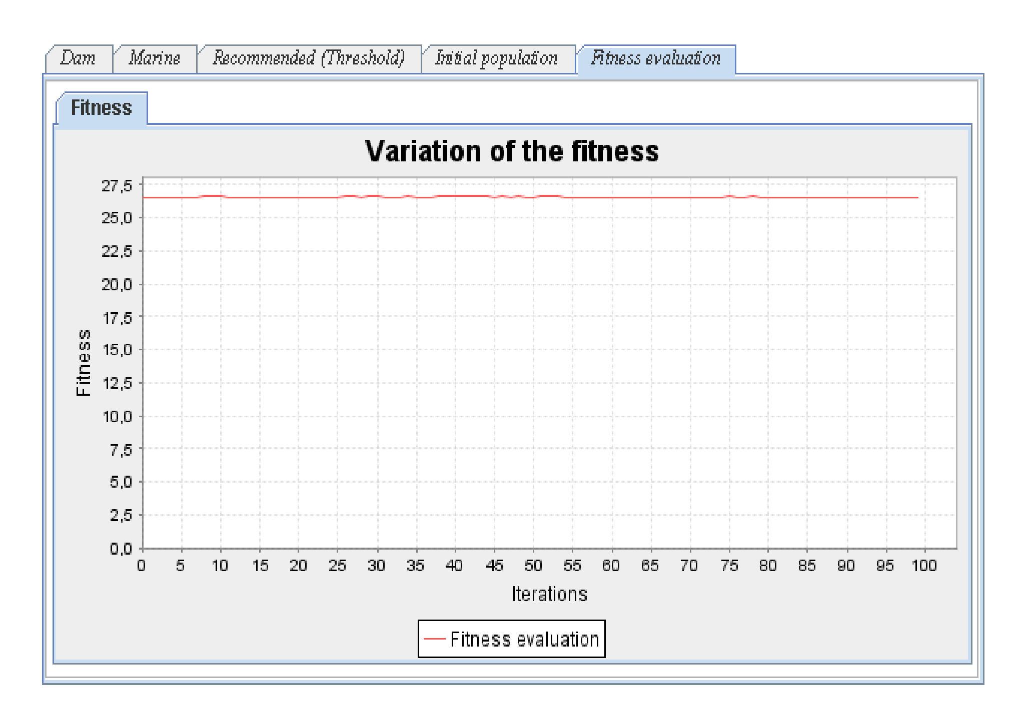


Fig.6-8 Variation de la Fitness2

VI.4 Discussion

Le long des itérations, la première fitness varie timidement mais instable, par contre la deuxième fitness apparaît avec une variation d'onde plus sensible et tend à se

stabiliser.

La stabilité de l'onde nous permet de définir une approche optimale, donc la deuxième fonction ou la fitness 2 est plus précise que la fitness1.

Ce qui nous permet de choisir la deuxième fitness pour générer notre population et

Opter à la meilleure composition chimique.

Dans cette optique nous mettons entre nos mains les différentes compositions chimiques des argiles utilisées dans les briqueteries algériennes et en particuliers celles de l'Ouest. Voir tableau 6-9.

VI.5 Comparaison avec les argiles utilisées dans les briqueteries d'ouest Algérie

Afin de mettre en valeur notre échantillon prélevé, on a sélectionné dix briqueteries

de l'ouest Algérien.

Selection		**Croisement**		**Mutation**		**Meilleur individu**		**Meilleure Composition**	
N°	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_{2O+}N_2O_3+P_2O_5$**	**TiO_2**	**L F**
1	54.09	12.24	4.94	9.93	2.56	0.11	2.62	0.66	12.86
2	48.12	15.5	5.49	9.97	3.01	0.52	3.23	0.75	13.41
3	47.86	12.67	5.34	12.26	3.15	0.37	2.73	0.68	14.96
4	48.17	14.46	5.78	10.49	3.01	0.03	3.21	0.71	14.31
5	47.83	16.83	6.1	9.04	2.68	0.07	3.38	0.79	13.19
6	47.71	15.81	5.91	9.94	2.88	0.46	3.09	0.78	13.41
7	47.91	14.4	5.94	10.4	2.73	0.4	3.00	0.78	14.44
8	62.33	11.04	5.58	7.32	1.51	0.01	1.70	0.58	9.93
9	53.88	10.75	5.39	11.94	1.79	0.02	1.92	0.57	13.74
10	52	9.99	4.96	13.49	2.02	0.06	1.97	0.53	14.97

Tableau 6-9. La Sélection de la Population Initiale des Briqueteries se situant dans l'Ouest Algérie

Croisement		Mutation		meilleur individu		Meilleure Composition			
SiO_2	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**CaO**	**MgO**	**SO_3**	**$K_2O+N_2O_3$**	**TiO_2**	**L F**	**Fitness**
47.71	15.81	5.91	9.94	2.88	0.46	3.09	0.78	13.41	26.501

Tableau 6-10. Meilleure composition en utilisant la première fitness pour les briqueteries sélectionnées

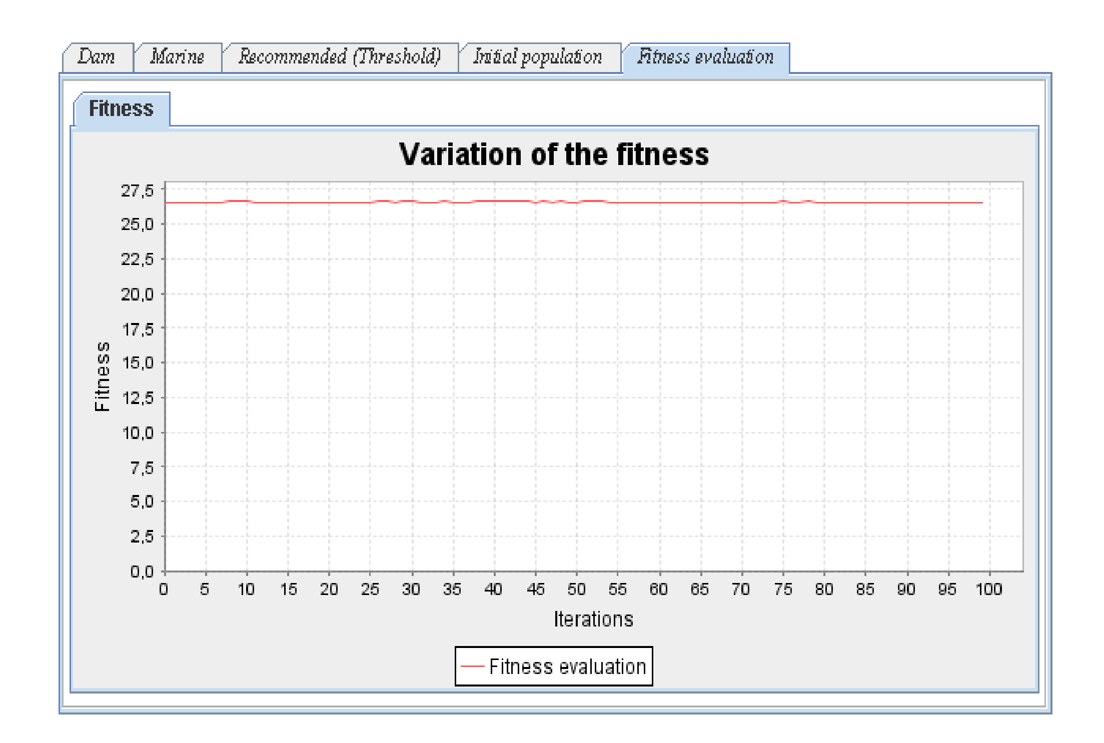


Fig.6-9 Variation de la Première Fitness des Briqueteries Étudiée

Croisement		Mutation		Meilleur individu		Meilleure Composition			
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$K_{2O+}N_2O_3+P_2O_5$	TiO_2	L F	Fitness
47.83	16.83	6.1	9.04	2.68	0.07	3.38	0.79	13.19	2.841

Tableau6-11. Meilleure composition avec la deuxième fitness pour les briqueteries sélectionnées.

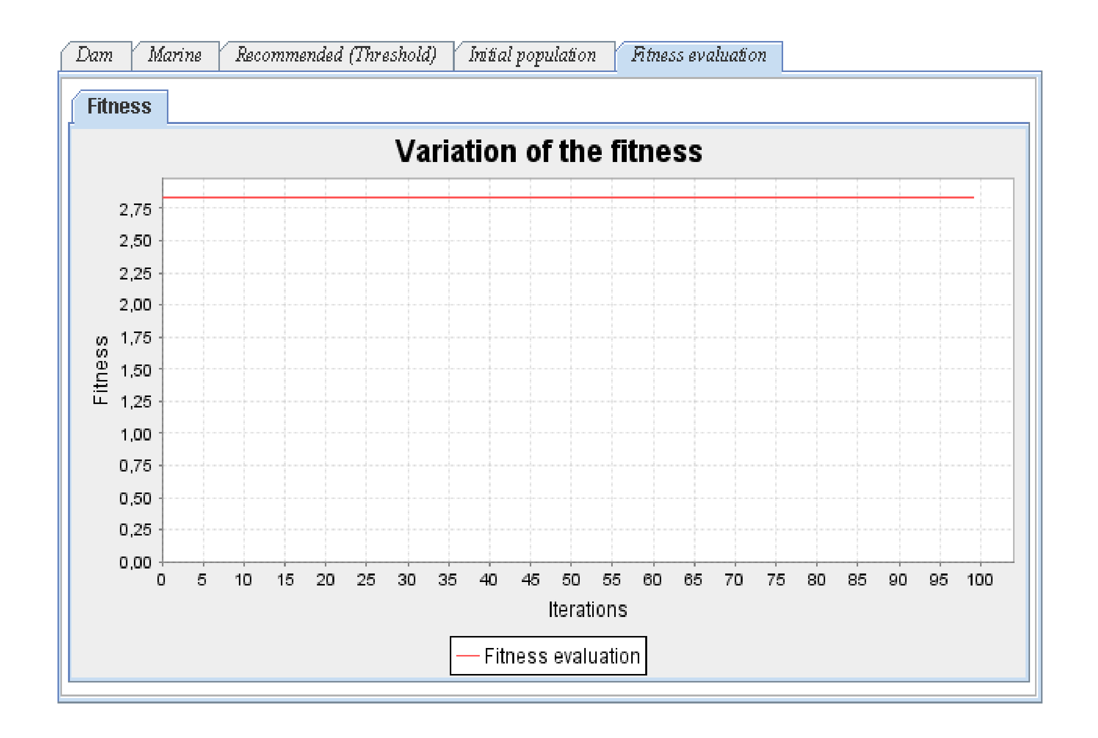


Fig.6-10 Variation de la Deuxième Fitness des Briqueteries Etudiées

On remarque que la variation de la fitness est presque nulle, la fitness est stable.

D'où l'utilisation de la deuxième fitness pour la comparaison entre les briqueteries sélectionnées et la vase prélevée a été choisie.

VI.5 Comparaison entre les compositions chimiques et la vase du barrage de Bouhanifia

Croisement		**Mutation**		**Meilleur Individu**		**Meilleure Composition**			
SiO_2	Al_2O_3	FE_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$K_2O+N_2O_3$	TiO_2	LF	Fitness
47.83	16.83	6.1	9.04	2.68	0.07	3.38	0.79	13.19	2.841
Composition chimique de la vase issue du barrage de Bouhanifia									
49.36	12.26	5.13	10.03	2.34	1.77	3.33	0.63	15.15	4.02

Tableau 6-12. Comparaison entre la Vase du Barrage de Bouhanifia et l'Argile des Briqueteries

Les différents pourcentages d'oxydes qui composent la vase issue du barrage de Bouhanifia se rapprochent de la composition optimisée par l'algorithme génétique

(AG) base de notre étude.

VI.6 Conclusions et perspectives

En conclusion, ce chapitre présente les étapes d'une approche d'optimisation d'un ensemble d'échantillons qui répondent aux seuils recommandés pour l'analyse chimique de l'argile utilisée pour la fabrication d'une brique cuite. Le modèle utilisé est l'algorithme génétique qui nous a donné l'analyse chimique optimale d'un échantillon adapté à la conception d'une brique cuite. Le but expérimental visé par le choix de ce modèle est la comparaison entre différents échantillons analysés et la correction de la composition chimique typique. Pour répondre au besoin de notre recherche, nous proposons de poursuivre le développement de l'algorithme utilisé dans l'algorithme des fonctions complexes. Nous prévoyons d'inclure en tant que fonctions les paramètres mécaniques et physiques qui caractérisent la brique cuite.

Conclusion Générale

L'histoire du port d'Oran, sa situation géographique privilégiée, le rapport qu'il entretient à la ville, son importance allant croissant comme pole d'échanges commercial à l'échelle du sud de la méditerrané ainsi que ses potentialités en matière d'infrastructure d'équipements et de services implique en effet des plans de développement portuaires annuels pour la préservation des infrastructures existantes et L'impératif du maintien des quais et des voies navigables en bon état.
Les barrages de l'ouest et en particulier celui de Bouhanifia, sont des infrastructures de stockage des ressources hydriques d'une nécessité cruciales pour le développement de l'agriculture en générales et l'approvisionnement de la population en eau potable de la région dû au faible taux d'arrosage annuel en pluviométrie

Le barrage de Bouhanifia objet de toute notre attention est un ouvrage d'une capacité initiale de 73 hm^3 localisé dans les chaines telliennes à forte érosion en temps de grandes averses engendrant une importante quantité de sédiments qui a fait subir un envasement de 53% et réduit la capacité de stockage initiale du barrage ;

Les opérations de curage des ports et des barrages en Algérie sont très onéreuses et la nécessité de rechercher d'autres moyens pour assurer la sécurité des populations en matière de préservation de la ressource eau et de l'environnement n'est plus à démontrer. Les méthodes actuelles de prise en charges de ces problèmes tendent seulement à gérer le caractère opérationnel des installations sans se préoccuper du devenir réel des vases et des boues de dragage.
Le devenir économique de notre pays et le bien vivre de sa population passe inévitablement par la prise en charges réelle des opérations de curages et la récupération à bon escient des vases dragués ;

Il ressort des différentes caractérisations, et essais faites sur les différents échantillons que la vase draguée des quais du port d'Oran à l'état cru et sans corrections ne s'apprête pas à être utiliser pour la fabrication de la brique ; En effet la caractérisation environnementale indique un taux élevé de polluants organiques et inorganiques dans les sédiments, ces polluants détectés lors des analyses différents analyses fragilisent le matériau et le rendent effrité et moins compacte. L'analyse granulométrique montre que la vase marine est un sable limoneux et qu'en outre elle est moins riche en oxygène.

Les spectres observés à l'analyse chimique EDX donnent un taux élevé d'oxygène dans la vase issue du barrage de Bouhanifia ce qui justifie sa non pollution, elle montre un aspect limon-argileux; en effet des traces d'argiles sont détectées par le bleu méthylène dans la vase du barrage. Elle présente aussi un caractère riche en oxygène comparant à la vase marine qui en contient moins. La vase issue du barrage de Bouhanifia a donné des résultats préliminaires satisfaisants pour la confection de la brique. Le rapport de rentabilité économique et environnemental nous parait en faveur de la vase du barrage.

Le procédé de fabrication de la brique rouge par différents essais de température de cuisson notamment à la température entre 800°C et 900°C s'est révélé satisfaisant pour l'utilisation de la vase du barrage de Bouhanifia et contribue à la fabrication de la brique rouge. En effet, l'analyse thermique DTA / TGA confirme l'état métastable (amorphe) et l'état cristallin à partir duquel la température de cuisson est tout à fait déterminée, l'analyse thermique a révélé qu'à une température 850 ° C, une phase amorphe donnant lieu à une activation pouzzolanique pour ce matériel, l'analyse minérale DRX et l'analyse thermique confirment ce choix de température. Les températures de cuisson sélectionnées sont déterminées comme suit 900°C, 950°C, 1000°C et 1050°C. Par conséquent, aucune fissure n'est apparut sur divers produits testés.

L’essai d’absorption à l’eau révèle que la porosité augmente en augmentant la température.

En outre des étapes d’une approche d’optimisation d’un ensemble d’échantillons qui répondent aux seuils recommandés pour l'analyse chimique de l'argile utilisée pour la fabrication d'une brique cuite, est l’exploitation d’un model d’algorithme génétique qui nous a permis d’avoir une analyse chimique optimal d’un échantillon adapté à la conception d’une brique cuite. Le but expérimental visé par le choix de ce modèle est la comparaison entre différents échantillons analysés et la correction de la composition chimique typique. Pour répondre au besoin de notre recherche avec une optimisation encore meilleure, nous projetons d’utiliser un algorithme génétique à fonctions complexes intégrant les paramètres mécaniques et physiques caractérisant la brique rouge.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[Abriak, 10] - **Abriak Nor-Eddine**, 2010. « la gestion des sédiments de dragage : stockage, traitement et valorisation » rencontres nationales (Activités Portuaires et développement durable. Du 30 juin au 1Juillet 2010.

[Agostini, 06] - **Agostini**, 2006« Inertage et Valorisation des Sédiments de Dragage Marins ». thèse de doctorat, école centrale de Lille, 2006

[Agostini et al, 07] - **Agostini et al**, 2007. «About a possible valorisation in cementitious materials of polluted sediments after treatment. Cement & Concrete Composites, 2007, vol. 29, pp. 270-278.

[Bassin Arcachon, 09] - **Bassin d'Arcachon**, 2009. Schéma directeur du traitement des vases portuaires [en ligne]. http://www.bassindarcachon.com/PDF/traitement_vases_2006

[Benzerzour et al, 17] - **Benzerzour et al**, 2017. New experimental approach of the reuse of dredged sediments in a cement matrix by physical and heat treatment, Construction and Building Materials 140 (2017) 432–444

[Benallal et al, 11] - **Ben allal et al**, 2011. Valorisation des sédiments de dragage portuaire du nord du Maroc dans des matériaux de construction en terre cuite, *Coastal and Maritime Mediterranean Conference* (2011). Available from http://www.paralia.fr/cmcm/e02-28-benallal.pdf

[Belkessar, 07] - **Belkessar,** 2007**«** Amenagement des ports de pêche de Bouharoun et khemisti »Alger 2007, mémoire online.

[Belkessa, 07] - **Belkessa**, 2007**«** Aménagement des Ports de Pêche de Bouharoun et Khemisti »Alger, 2007, mémoire online.

[Breugelmans, 07] - **Breugelmans,** 2007 « Novo sol, the story of a pluri disciplinar step by step approach » le principe de stabiliser les métaux lourds et la destruction de matiere organique . environmental research and development.

[Bekari et al, 10] - **Bekari Mouloud**, Elgazzar Abderrahim, Majdoub Tariq, promotion 2010. Etude bibliographique « Outils d'aménagement des ports gestion globale des sédiments marins ». Ecole des mines de Douai.

[Boutin, 99] - **Boutin R.**, 1999 « Amélioration des connaissances sur le comportement des rejets en mer des produits de dragage

type vase : phénomènes court terme champ proche », Thèse de l'Institut des sciences appliquées de Lyon, 1999

[Benothmane, 86] - **Benothmane M.**, 1986. « Etude des bétons silico calcaires », thèse de docteur ingénieur de l'INSA de Lyon.

[Benamara, 90] - **Benamara L.**, 1990: « Conception d'éléments de toiture pour pays en voie de développement ». Thèse de doctorat de l'institut national des sciences

[Campbell, 04] - **Campbell, J**. L'art et l'histoire de la brique: Bâtiments privés et publics du monde entier, Editeur : Citadelles & Mazenod, 2004.

[Cappuyns et al, 15] - **Cappuyns et al**, 2015 "Dredged sediments as a resource for brick production: Possibilities and barriers from a consumers' perspective" Waste Management 38 (2015) 372–380.

[convention, 72] - **Convention de Londres** 1972 : « Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion de déchets ». Source : http://www.londonconvention.org

[convention, 74] - **Convention de Paris,** 1974: « La convention de Paris pour la prévention de la pollution marine d'origine tellurique ». Source : http://www.senat.fr/rap/l96-421/l96-421.html

[Chabat, 81] - **Chabat, P.** La brique et la terre cuite, Paris, 1881.

[Chalabi et al**, 02**] - **Chalabi et al,** 2002. Plan d'action stratégique pour la conservation de la diversité Biologique en région méditerranéenne. Rapport national. PAS.Bio.Algérie.

[Dipama**,** 10] - **Dipama,** 2010. Optimisation multi objectif des systèmes énergétiques, Thèse de doctorat, Université de Montréal, Canada.

[Dron, 78] - **Dron R.,** 1978. « Etude expérimentale du système CaO-SiO2-Al2O3-H2O ».Bulletin de liaison du laboratoire des ponts et chaussées.

[El Fgaier et al, 13] - **El Fgaier et al**, 2013 « Use of clay bricks incorporating

treated river sediments in a demonstrative building: Case study" Construction and Building Materials 48 (2013) 160–165

[El Fagaier et al, 13]
- **El FgaierF.** 2013**.** Conception, production et qualification des briques en terre cuite et en terre crue.
  Thèse de doctorat délivrée par l'école centrale de Lille

[El Fagaier et al, 16]
- **El Fgaier et al**, 2016 « Effect of sorption capacity on thermo mechanical properties of unfired. Clay bricks" Journal of BuildingEngineering6(2016)86–92

[Emilo, 78]
- **EMIL O.** 1978. Technologie de matériaux de Construction, Tome II, 335 p.

[Foucault et al, 80]
- **Foucault et al**, 1980 "Dictionnaire de géologie", Editions Masson, Paris, ISBN 2-225-65461-1, ISSN 0338-267

[Gourouza et al, 13]
- **Gourouza.M** et al, 2013. Characterization of a mixed clay Niger Rev. CAMES – Sciences Struct. Mat.Vol. 1, Déc. 2013

[Gosselin et al, 99]
- **Gosselin et al,** 1999. **«** Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgiques ». Préparé par la : Section Eco-innovation technologique, Programme de développement et de démonstration technologiques, Direction de la Protection de l'Environnement Canada. Mars 1999.

[Ifremer, 03]
- **Ifremer, 2003.** Rejet de dragages: analyse des textes réglementaires. www.ifremer.fr, Dossier: « Dragage et environnement Marin », coordonateur: Claude Alzieu.

[kazi et al, 14]
- **Kazi Aoual-Benslafa F**.et al, 2014« Caractérisation des sédiments de dragage du barrage de Bouhanifia pour une réutilisation » XIII èmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Dunkerque, 2-4 juillet 2014

[Jean, 10]
- **Jean, 2010.** Optimisation multi objectif des systèmes énergétiques. Thèse de doctorat, Université de Montréal,

[Kingery, 55]
- **Kingery WD**, Berg M, 1955. Study of the initial stages of

sintering solids by viscous flow, evaporation–condensation, and self-diffusion, J. Appl. Phys. 26 (10) (1955) 1205–1212.

[Kung et al, 08] - **Kung-Yuh et al**, 2008 « Study on the characteristics of building bricks produced from reservoir sediment" Journal of Hazardous Materials 159 (2008) 499–504

[Kribi, 05] - **Kribi S.,** 2005 « Décomposition des matières organiques et stabilisation des métaux lourds dans les sédiments de dragage ». Thèse de l'Université de Lyon, 2005, 220 p.

[Lafhaj, 08] - **Lafhaj**, 2008. *Construction and Building Materials* 22 (2008) 755–762.

[Labiod et al, 04] - **Labiod et al,** 2004. *Traitement de la vase du barrage de Bouhanifia en vue de sa valorisation.* Larhyss Journal 03 (2004) 7-12.

[LEM, 05] - **LEM**, 2005 Laboratoire des Etudes Maritimes, « Etude d'impact sur l'environnement du dragage des bassins du port d'Oran » Rapport 2005.

[Martinez, 12] - **Martinez,** 2012. Sludge valorization from wastewater treatment plant to its application on the ceramic industry, *J. Envir. Manag 19*95 (2012) S343-S348

[Messina et al, 17] - **Messina et al**,2017 « Synergistic recycling of calcined clayey sediments and water potabilization sludge as geopolymer precursors: Upscaling from binders to precast paving cement-free bricks" Construction and Building Materials 133 (2017) 14–26

[Mezencevova et al, 12] - **Mezencevova et al**, 2012 « Utilization of Savannah Harbor river sediment as the primary raw material in production of fired brick" Journal of Environmental Management 113 (2012) 128-136

[NF P 94-051, 93**]** - **NF P 94-051**, 1993. Determination of the Limits of Atterberg (1993).

[NF P 94-068, 98**]** - **NF P 94-068**, October 1998. Determination of the Value of the Methylene Blue

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[NF EN 196-6, 10] - **NF EN 196-6**, 2010. Determination of a specific surface Area of Blaine.

[NF EN 1097-7, 08] - **NF EN 1097-7**, 2008. The specific density of the materials was determined through a MICROMETRICS Accu-Pyc1340.

[NF EN 771-1, 04] - **NF EN 771-1,** 2004. Specification for masonry units Part 1: Clay masonry units

[NF P 94-050, 91] - **NF P 94-050**, 1991.Mesure de la teneur en eau

[NF P 94-057, 96] - **NF P 94-057,** 1996. Analyse granulométrique par sédimentation

[NF P 94-056, 96] - **NF P 94- 056**, 1996. Analyse granulométrique par tamisage

[ISO 13320, 09] - ISO 13320, 2009. Analyse granulométrique, méthode

Par diffraction. Méthode à Lazer

[Peirs, 05] - **Peirs, G.** 2005. La brique : fabrication et traditions constructives, Groupe Eyrolles.

[Qlihaa et al, 16] - **Qlihaa. A** et al, 2016. Caractérisation physico-chimique d'une argile Marocaine [Physico-chemical characterization of a morrocan clay], J. Mater. Environ. Sci. 7 (5) (2016) 1741-1750 Qlihaa et al ISSN : 2028-2508 CODEN : JMESCN

[Remini, 06] - **Remini, 2006.** valorisation de la vase des barrages quelques exemples Algériens, Larhyss Journal 05 (2006) 75-89

[Remini et al, 03] - **Remini W**.et al 2003. « la Sédimentation dans les Barrages de l'Afrique du Nord » Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin 2003, pp. 45-54.

[Samara, 07] - **Samara,** 2007. Thèse de doctorat laboratoire de mécanique de Lille France.

[Samara et al, 09] - **Samara et al**, 2009 « Valorization of stabilized river sediments in fired clay bricks: Factory scale experiment" Journal of Hazardous Materials 163 (2009) 701–710

[Said et al, 15] - **Said et al**,2015 « Reuse of Tunisian marine sediments in

paving blocks: factory scale experiment » Journal of Cleaner Production 102 (2015)

[Semcha, 06]
- **Semcha A.**, Thèse doctorat Université de Reims Champagne-Ardenne France, (2006).

[Scordia, 08]
- **Scordia**, 2008 « Caractérisation et valorisation de sédiments fluviaux pollues et traites dans les matériaux routiers ». Thèse de doctorat, l'école centrale de Lille, 2008.

[Schneider, 01]
- **Schneider, 2001** : « Boues de curage des cours d'eau » CE,43,146-147.Source http://www.inra.fr/dpenv/curage.htm

[Schwartz, 05]
- **Schwartz,** 2005. *Les algorithmes génétiques.* eveloppez.com. Available from: http://khayyam.developpez.com/articles/algo/genetic/

[Stien, 90 ; Bitton et al, 83 ; Feachem et al, 83 ; Schwartzbrod et al, 86]
- **Stien**, 1990 ; Bitton et al, 1983 ; Feachem et al, 1983 ; Schwartzbrod et al., 1986) « Contamination Parasitaire des Sédiments Marins. Etude sur le site de Barcelone » revue des sciences de l'eau, 3(1990) 107-118

[Tran, 09]
- **Tran**, 2009 « Valorisation de sédiments marins et fluviaux en technique routière » Thèse doctorat de l'Université d'Artois.

[Yang et al, 14]
- **Yang Xu et al**, 2014 "The use of urban river sediments as a primary raw material in the production of highly insulating brick" Ceramics International40 (2014)8833–8840.

[Yachba et al, 16]
- **Yachba et al**, 2016. Vers une contribution dans le transport maritime de marchandises : Optimisation de placement des conteneurs dans un port maritime, Transport and Télécommunication Vol. 17, N°. 4, 2016.

[Zhang et al, 16]
- **Zhang et al**, 2016 « Fabrication, microstructure and properties of bricks fired from lake sediment, cinder and sewage sludge" Construction and Building Materials 121 (2016) 154–160

Annexes

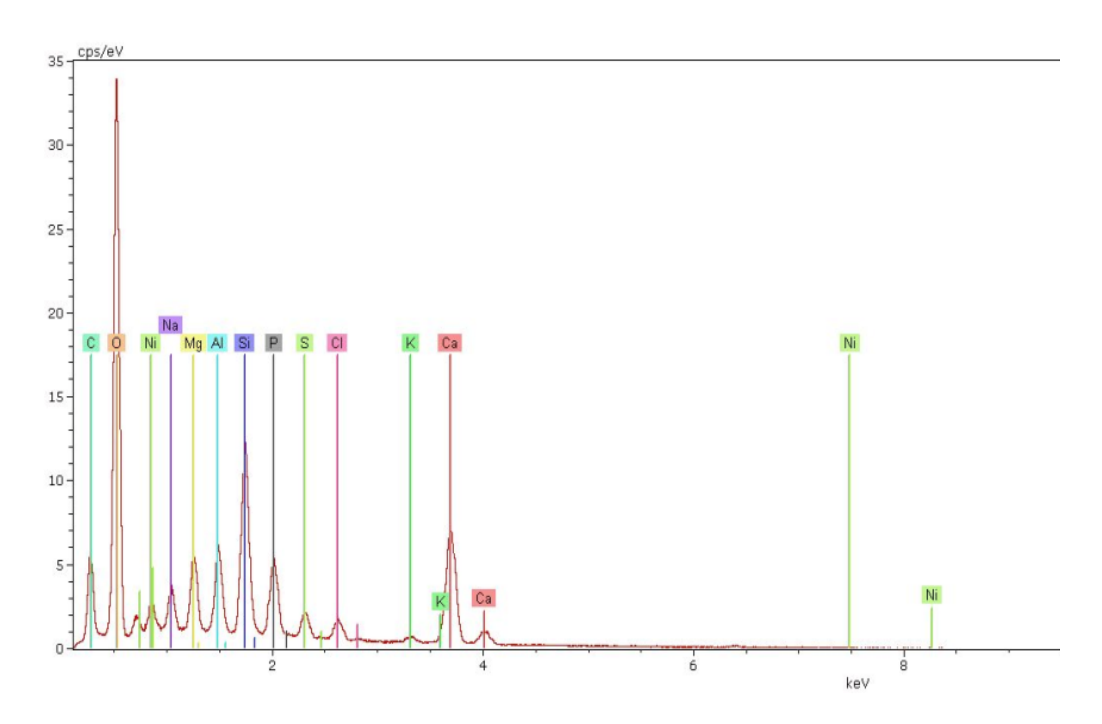


Fig. A-1 spectre de la vase calcinée du port d'Oran

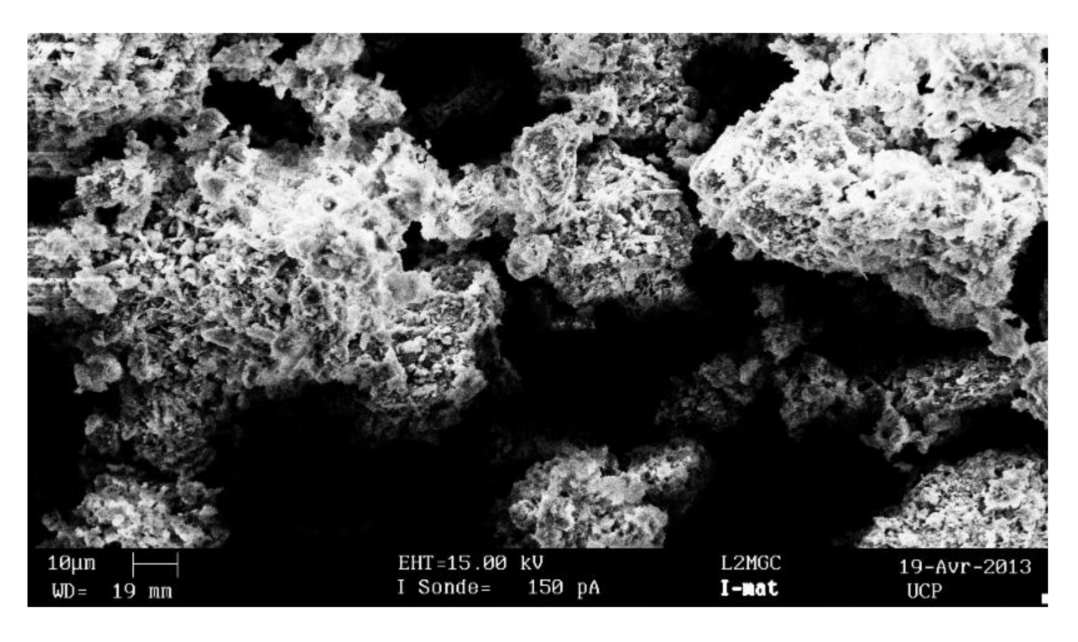


Fig. A-2 Image MEB **(**vase calcinée du port d'Oran)